

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-067972

(43)Date of publication of application : 07.03.2003

(51)Int.Cl. G11B 7/135  
G02B 5/28  
G11B 7/125

(21)Application number : 2002-143705

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 17.05.2002

(72)Inventor : KATAYAMA RYUICHI

(30)Priority

Priority number : 2001160798

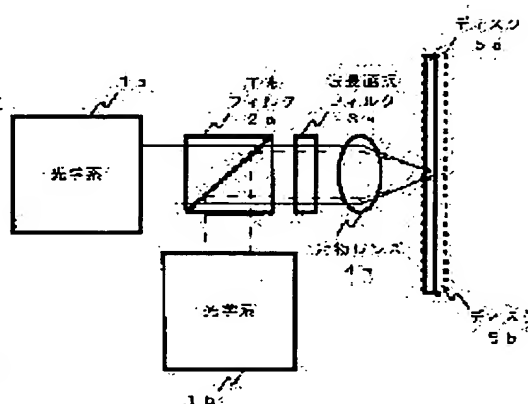
Priority date : 29.05.2001

Priority country : JP

**(54) OPTICAL HEAD AND OPTICAL INFORMATION RECORDING AND REPRODUCING DEVICE****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical head and an optical information recording/ reproducing device which can make recording and reproducing on optical recording media of the specifications both for the next generation using a thin base plate and for the conventional DVD or CD by making the wavelength short for the light source and the numerical aperture of the objective lens high.

**SOLUTION:** The light of 405 nm wavelength from the optical-system 1a is made parallel light and radiated to the objective lens 4a and focused on a base plate 5a 0.1 mm thick. The light of 650 nm wavelength from the optical-system 1b is radiated to the objective lens 4a as the divergent light and focused on a base plate 5b 0.6 mm thick. Spherical aberration remaining in the light of the 650 nm wavelength is reduced by the magnification change of the objective lens 4a and further reduced by the selective wavelength filter 3a.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 25.05.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 01.11.2005

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

BEST AVAILABLE COPY

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2005-23268

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 01.12.2005

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-67972

(P2003-67972A)

(43) 公開日 平成15年3月7日 (2003.3.7)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>*</sup> (参考)
G 1 1 B	7/135	G 1 1 B 7/135	Z 2 H 0 4 8 A 5 D 1 1 9
G 0 2 B	5/28	G 0 2 B 5/28	
G 1 1 B	7/125	G 1 1 B 7/125	B

審査請求 未請求 請求項の数88 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2002-143705(P2002-143705)  
(22) 出願日 平成14年5月17日 (2002.5.17)  
(31) 優先権主張番号 特願2001-160798(P2001-160798)  
(32) 優先日 平成13年5月29日 (2001.5.29)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

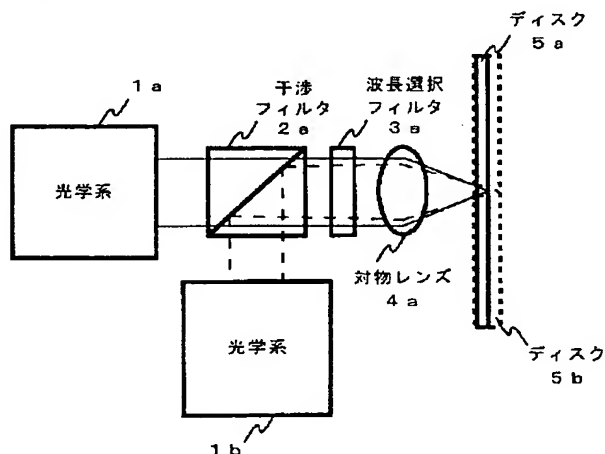
(71) 出願人 000004237  
日本電気株式会社  
東京都港区芝五丁目7番1号  
(72) 発明者 片山 龍一  
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株  
式会社内  
(74) 代理人 100084250  
弁理士 丸山 隆夫  
Fターム(参考) 2H048 GA07 GA09 GA13 GA23 GA24  
GA30 GA33 GA61  
5D119 AA11 AA22 AA41 BA01 EC01  
EC47 FA08 JA28 JA64

(54) 【発明の名称】 光ヘッド装置および光学式情報記録再生装置

(57) 【要約】

【課題】 光源の波長を短く対物レンズの開口数を高くし、基板厚さを薄くした次世代規格の光記録媒体と従来のDVD規格やCD規格の光記録媒体のいずれに対しても記録や再生を行うことができる光ヘッド装置および光学式情報記録再生装置を提供する。

【解決手段】 光学系1aから出射した波長405nmの光は平行光として対物レンズ4aに入射し、基板厚さ0.1mmのディスク5a上に集光される。光学系1bから出射した波長650nmの光は発散光として対物レンズ4aに入射し、基板厚さ0.6mmのディスク5b上に集光される。波長650nmの光に対して残留する球面収差は対物レンズ4aの倍率変化により低減され、波長選択フィルタ3aによりさらに低減される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第一の波長の光を出射する第一の光源と、第二の波長の光を出射する第二の光源と、光検出器と、波長選択フィルタと、対物レンズと、を有し、

前記第一の光源からの出射光を前記波長選択フィルタおよび前記対物レンズを介して第一の基板厚さの第一の光記録媒体に導き、前記第二の光源からの出射光を前記波長選択フィルタおよび前記対物レンズを介して第二の基板厚さの第二の光記録媒体に導くと共に、前記第一および第二の光記録媒体からの反射光を前記対物レンズおよび前記波長選択フィルタを介して前記光検出器に導く光学系を形成し、

前記第一の波長の光を用いて前記第一の光記録媒体に対して記録や再生を行い、前記第二の波長の光を用いて前記第二の光記録媒体に対して記録や再生を行う光ヘッド装置において、

前記第一の波長の光に対する前記対物レンズの倍率と、前記第二の波長の光に対する前記対物レンズの倍率とが異なると共に、前記波長選択フィルタは、対応する前記対物レンズの倍率における前記第一の波長の光または前記第二の波長の光に対して残留する球面収差を低減するように位相分布を変化させることを特徴とする光ヘッド装置。

【請求項 2】 前記第一の波長は、前記第二の波長に比べて短いことを特徴とする請求項 1 記載の光ヘッド装置。

【請求項 3】 前記第一の基板厚さは、前記第二の基板厚さに比べて薄いことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の光ヘッド装置。

【請求項 4】 前記対物レンズは、該対物レンズに平行光として入射した前記第一の波長の光が前記第一の基板厚さの基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有することを特徴とする請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 5】 前記第一の光源からの出射光は、前記第一の波長の光に対する前記対物レンズの倍率が略 0 となるように略平行光として前記対物レンズに入射し、前記第二の光源からの出射光は、前記第二の波長の光に対する前記対物レンズの倍率が第一の所定の値となるように発散光として前記対物レンズに入射することを特徴とする請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 6】 前記波長選択フィルタは、同心円状の位相フィルタボタンと、第一および第二の誘電体多層膜と、を有することを特徴とする請求項 1～5 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 7】 前記位相フィルタボタンは、前記第一の波長の光に対して位相分布を殆んど変化させず、前記第二の波長の光に対して位相分布を変化させることを特徴とする請求項 6 記載の光ヘッド装置。

【請求項 8】 前記位相フィルタボタンは、前記第二の波長の光に対する位相分布の変化が前記対物レンズの前記第一の所定の値の倍率における球面収差を低減するように設計されていることを特徴とする請求項 6 または 7 記載の光ヘッド装置。

【請求項 9】 前記位相フィルタボタンは、前記対物レンズの有効径より小さい第一の直径の円形の領域内にのみ形成されていることを特徴とする請求項 6～8 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 10】 前記位相フィルタボタンの断面は、マルチレベルの階段状であることを特徴とする請求項 6～9 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 11】 前記位相フィルタボタンの各段の高さは、各段におけるボタンのある部分と、ない部分とを通る光の位相差が、前記第一の波長に対して略  $2\pi$  となるように設定されていることを特徴とする請求項 10 記載の光ヘッド装置。

【請求項 12】 前記第一の誘電体多層膜は、前記第一の直径の円形の領域内にのみ形成されており、

前記第二の誘電体多層膜は、前記第一の直径の円形の領域外にのみ形成されていることを特徴とする請求項 6 記載の光ヘッド装置。

【請求項 13】 前記第一の誘電体多層膜は、前記第一の波長の光、前記第二の波長の光を殆んど全て透過させ、

前記第二の誘電体多層膜は、前記第一の波長の光を殆んど全て透過させ、前記第二の波長の光を殆んど全て反射させることを特徴とする請求項 6 または 12 記載の光ヘッド装置。

【請求項 14】 前記第一の波長に対し、前記第一の誘電体多層膜を透過する光と、前記第二の誘電体多層膜を透過する光との位相差は、略  $2\pi$  の整数倍に調整されていることを特徴とする請求項 6、12、13 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 15】 前記第一および第二の誘電体多層膜は、いずれも高屈折率層と低屈折率層とを交互に積層した構成であることを特徴とする請求項 6、12～14 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 16】 前記第一の誘電体多層膜における各層の厚さと、前記第二の誘電体多層膜における各層の厚さとが異なることを特徴とする請求項 6、12～15 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 17】 前記位相フィルタボタンは、第一のガラス基板上に形成されており、前記第一および第二の誘電体多層膜は、第二のガラス基板上に形成されていることを特徴とする請求項 6 記載の光ヘッド装置。

【請求項 18】 前記第一のガラス基板の前記位相フィルタボタンが形成されていない面と、前記第二のガラス基板の前記第一および第二の誘電体多層膜が形成されて

いない面とが接着剤により貼り合わされていることを特徴とする請求項 17 記載の光ヘッド装置。

【請求項 19】 前記位相フィルタボタンは、ガラスまたはプラスチックの成形により基板と一体で形成されていることを特徴とする請求項 6 記載の光ヘッド装置。

【請求項 20】 前記位相フィルタボタンまたは前記第一および第二の誘電体多層膜が前記対物レンズ上に形成されていることを特徴とする請求項 6 記載の光ヘッド装置。

【請求項 21】 第三の波長の光を出射する第三の光源をさらに有し、  
該第三の光源からの出射光を前記波長選択フィルタおよび前記対物レンズを介して第三の基板厚さの第三の光記録媒体に導くと共に、該第三の光記録媒体からの反射光を前記対物レンズおよび前記波長選択フィルタを介して前記光検出器に導く光学系をさらに形成し、  
前記第三の波長の光を用いて前記第三の光記録媒体に対して記録や再生を行い、前記第一の波長の光に対する前記対物レンズの倍率と、前記第三の波長の光に対する前記対物レンズの倍率とが異なることを特徴とする請求項 1 記載の光ヘッド装置。

【請求項 22】 前記第一の波長は、前記第二の波長に比べて短く、

前記第二の波長は、前記第三の波長に比べて短いことを特徴とする請求項 21 記載の光ヘッド装置。

【請求項 23】 前記第一の基板厚さは、前記第二の基板厚さに比べて薄く、

前記第二の基板厚さは、前記第三の基板厚さに比べて薄いことを特徴とする請求項 21 または 22 記載の光ヘッド装置。

【請求項 24】 前記対物レンズは、該対物レンズに平行光として入射した前記第一の波長の光が前記第一の基板厚さの基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有することを特徴とする請求項 21～23 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 25】 前記第一の光源からの出射光は、前記第一の波長の光に対する前記対物レンズの倍率が略 0 となるように略平行光として前記対物レンズに入射し、  
前記第二の光源からの出射光は、前記第二の波長の光に対する前記対物レンズの倍率が第一の所定の値となるように発散光として前記対物レンズに入射し、  
前記第三の光源からの出射光は、前記第三の波長の光に対する前記対物レンズの倍率が第二の所定の値となるように発散光として前記対物レンズに入射することを特徴とする請求項 21～24 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 26】 前記波長選択フィルタは、同心円状の位相フィルタボタンと第一、第二および第三の誘電体多層膜を有することを特徴とする請求項 21～25 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 27】 前記位相フィルタボタンは、前記第一の波長の光に対して位相分布を殆んど変化させず、前記第二および第三の波長の光に対して位相分布を変化させることを特徴とする請求項 26 記載の光ヘッド装置。

【請求項 28】 前記位相フィルタボタンは、前記第二の波長の光に対する位相分布の変化が前記対物レンズの前記第一の所定の倍率における球面収差を低減するように設計されていることを特徴とする請求項 26 または 27 記載の光ヘッド装置。

【請求項 29】 前記位相フィルタボタンは、前記対物レンズの有効径より小さい第一の直径の円形の領域内にのみ形成されていることを特徴とする請求項 26～28 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 30】 前記位相フィルタボタンの断面は、マルチレベルの階段状であることを特徴とする請求項 26～29 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 31】 前記位相フィルタボタンの各段の高さは、各段におけるボタンのある部分と、ない部分とを通る光の位相差が前記第一の波長に対して略  $2\pi$  となるように設定されていることを特徴とする請求項 30 記載の光ヘッド装置。

【請求項 32】 前記第一の誘電体多層膜は、前記第一の直径より小さい第二の直径の円形の領域内にのみ形成されており、

前記第二の誘電体多層膜は、前記第二の直径の円形の領域外かつ前記第一の直径の円形の領域内にのみ形成されており、

前記第三の誘電体多層膜は、前記第一の直径の円形の領域外にのみ形成されていることを特徴とする請求項 26 記載の光ヘッド装置。

【請求項 33】 前記第一の誘電体多層膜は、前記第一の波長の光、前記第二の波長の光、前記第三の波長の光を殆んど全て透過させ、

前記第二の誘電体多層膜は、前記第一の波長の光、前記第二の波長の光を殆んど全て透過させ、前記第三の波長の光を殆んど全て反射させ、

前記第三の誘電体多層膜は、前記第一の波長の光を殆んど全て透過させ、前記第二の波長の光、前記第三の波長の光を殆んど全て反射させることを特徴とする請求項 26 または 32 記載の光ヘッド装置。

【請求項 34】 前記第一の波長に対し、前記第一の誘電体多層膜を透過する光と、前記第二の誘電体多層膜を透過する光と、前記第三の誘電体多層膜を透過する光との位相差は、略  $2\pi$  の整数倍に調整されており、  
前記第二の波長に対し、前記第一の誘電体多層膜を透過する光と前記第二の誘電体多層膜を透過する光との位相差は、略  $2\pi$  の整数倍に調整されていることを特徴とする請求項 26、32、33 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 35】 前記第一、第二および第三の誘電体多

層膜は、いずれも高屈折率層と低屈折率層とを交互に積層した構成であることを特徴とする請求項 26、32～34 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 36】 前記第一の誘電体多層膜における各層の厚さおよび層数と、前記第二の誘電体多層膜における各層の厚さおよび層数とが異なり、前記第二の誘電体多層膜における各層の厚さと、前記第三の誘電体多層膜における各層の厚さとが異なることを特徴とする請求項 26、32～35 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 37】 前記位相フィルタパターンは、第一のガラス基板上に形成されており、

前記第一、第二および第三の誘電体多層膜は、第二のガラス基板上に形成されていることを特徴とする請求項 26 記載の光ヘッド装置。

【請求項 38】 前記第一のガラス基板の前記位相フィルタパターンが形成されていない面と、前記第二のガラス基板の前記第一、第二および第三の誘電体多層膜が形成されていない面とが接着剤により貼り合わされていることを特徴とする請求項 37 記載の光ヘッド装置。

【請求項 39】 前記位相フィルタパターンは、ガラスまたはプラスチックの成形により基板と一体で形成されていることを特徴とする請求項 26 記載の光ヘッド装置。

【請求項 40】 前記位相フィルタパターンまたは前記第一、第二および第三の誘電体多層膜が前記対物レンズ上に形成されていることを特徴とする請求項 26 記載の光ヘッド装置。

【請求項 41】 第一の波長の光を出射する第一の光源と、第二の波長の光を出射する第二の光源と、光検出器と、開口制御素子と、対物レンズと、を有し、前記第一の光源からの出射光を前記開口制御素子および前記対物レンズを介して第一の基板厚さの第一の光記録媒体に導き、前記第二の光源からの出射光を前記開口制御素子および前記対物レンズを介して第二の基板厚さの第二の光記録媒体に導くと共に、前記第一および第二の光記録媒体からの反射光を前記対物レンズおよび前記開口制御素子を介して前記光検出器に導く光学系を形成し、

前記第一の波長の光を用いて前記第一の光記録媒体に対して記録や再生を行い、前記第二の波長の光を用いて前記第二の光記録媒体に対して記録や再生を行う光ヘッド装置において、

前記第一の波長の光に対する前記対物レンズの倍率と、前記第二の波長の光に対する前記対物レンズの倍率とが異なると共に、前記第一の光源または前記第二の光源と前記開口制御素子との間に第一の球面収差補正素子をさらに有し、

該第一の球面収差補正素子は、対応する前記対物レンズの倍率における前記第一の波長の光または前記第二の波長の光に対して残留する球面収差を補正するように位相

分布を変化させることを特徴とする光ヘッド装置。

【請求項 42】 前記第一の波長は、前記第二の波長に比べて短いことを特徴とする請求項 41 記載の光ヘッド装置。

【請求項 43】 前記第一の基板厚さは、前記第二の基板厚さに比べて薄いことを特徴とする請求項 41 または 42 記載の光ヘッド装置。

【請求項 44】 前記対物レンズは、該対物レンズに平行光として入射した前記第一の波長の光が前記第一の基板厚さの基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有することを特徴とする請求項 41～43 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 45】 前記第一の光源からの出射光は、前記第一の波長の光に対する前記対物レンズの倍率が略 0 となるように略平行光として前記対物レンズに入射し、前記第二の光源からの出射光は、前記第二の波長の光に対する前記対物レンズの倍率が第一の所定の値となるように発散光として前記対物レンズに入射することを特徴とする請求項 41～44 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 46】 前記開口制御素子は、第一および第二の誘電体多層膜を有することを特徴とする請求項 41～45 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 47】 前記第一の誘電体多層膜は、前記対物レンズの有効径より小さい第一の直径の円形の領域内のみ形成されており、

前記第二の誘電体多層膜は、前記第一の直径の円形の領域外にのみ形成されていることを特徴とする請求項 46 記載の光ヘッド装置。

【請求項 48】 前記第一の誘電体多層膜は、前記第一の波長の光、前記第二の波長の光を殆んど全て透過させ、前記第二の誘電体多層膜は、前記第一の波長の光を殆んど全て透過させ、前記第二の波長の光を殆んど全て反射させることを特徴とする請求項 46 または 47 記載の光ヘッド装置。

【請求項 49】 前記第一の波長に対し、前記第一の誘電体多層膜を透過する光と、前記第二の誘電体多層膜を透過する光との位相差は、略  $2\pi$  の整数倍に調整されていることを特徴とする請求項 46～48 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 50】 前記第一および第二の誘電体多層膜は、いずれも高屈折率層と低屈折率層とを交互に積層した構成であることを特徴とする請求項 46～49 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 51】 前記第一および第二の誘電体多層膜は、ガラス基板上に形成されていることを特徴とする請求項 46 記載の光ヘッド装置。

【請求項 52】 前記第一および第二の誘電体多層膜は、前記対物レンズ上に形成されていることを特徴とす

る請求項 4 6 記載の光ヘッド装置。

【請求項 5 3】 前記第一の球面収差補正素子は、前記第二の光源と前記開口制御素子との間に設けられており、前記第二の波長の光に対して位相分布を変化させることを特徴とする請求項 4 5 記載の光ヘッド装置。

【請求項 5 4】 前記第一の球面収差補正素子は、前記第二の波長の光に対する位相分布の変化が前記対物レンズの前記第一の所定の値の倍率における球面収差を補正するように設計されていることを特徴とする請求項 5 3 記載の光ヘッド装置。

【請求項 5 5】 前記第一の球面収差補正素子の一方の面は、平面であり、他方の面は、非球面であることを特徴とする請求項 5 3 または 5 4 記載の光ヘッド装置。

【請求項 5 6】 前記第一の球面収差補正素子は、第一のレンズと一体化されていることを特徴とする請求項 5 3～5 5 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 5 7】 前記対物レンズを前記第二の光記録媒体のラジアル方向に傾けることで、前記対物レンズと前記第一の球面収差補正素子との中心ずれに起因するコマ収差を補正することを特徴とする請求項 4 1 記載の光ヘッド装置。

【請求項 5 8】 前記第一および第二の光源と前記開口制御素子との間に第一および第二のリレーレンズをさらに有することを特徴とする請求項 4 1 記載の光ヘッド装置。

【請求項 5 9】 前記第一および第二のリレーレンズのどちらか一方を光軸方向に移動させることで、前記第一の光記録媒体の基板厚ずれに起因する球面収差を補正することを特徴とする請求項 5 8 記載の光ヘッド装置。

【請求項 6 0】 前記第一および第二のリレーレンズのどちらか一方を前記第二の光記録媒体のラジアル方向に傾けるまたは移動させることで、前記対物レンズと前記第一の球面収差補正素子との中心ずれに起因するコマ収差を補正することを特徴とする請求項 5 8 または 5 9 記載の光ヘッド装置。

【請求項 6 1】 前記第一および第二のリレーレンズのどちらか一方は、正弦条件を満たさないように設計されることを特徴とする請求項 6 0 記載の光ヘッド装置。

【請求項 6 2】 第三の波長の光を出射する第三の光源をさらに有し、

該第三の光源からの出射光を前記開口制御素子および前記対物レンズを介して第三の基板厚さの第三の光記録媒体に導くと共に、該第三の光記録媒体からの反射光を前記対物レンズおよび前記開口制御素子を介して前記光検出器に導く光学系をさらに形成し、

前記第三の波長の光を用いて前記第三の光記録媒体に対して記録や再生を行い、前記第一の波長の光に対する前記対物レンズの倍率と前記第三の波長の光に対する前記対物レンズの倍率とが異なると共に、前記第一の光源ま

たは前記第三の光源と前記開口制御素子との間に第二の球面収差補正素子をさらに有し、

該第二の球面収差補正素子は、対応する前記対物レンズの倍率における前記第一の波長の光または前記第三の波長の光に対して残留する球面収差を補正するように位相分布を変化させることを特徴とする請求項 4 1 記載の光ヘッド装置。

【請求項 6 3】 前記第一の波長は、前記第二の波長に比べて短く、

10 前記第二の波長は、前記第三の波長に比べて短いことを特徴とする請求項 6 2 記載の光ヘッド装置。

【請求項 6 4】 前記第一の基板厚さは、前記第二の基板厚さに比べて薄く、

前記第二の基板厚さは、前記第三の基板厚さに比べて薄いことを特徴とする請求項 6 2 または 6 3 記載の光ヘッド装置。

【請求項 6 5】 前記対物レンズは、該対物レンズに平行光として入射した前記第一の波長の光が前記第一の基板厚さの基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有することを特徴とする請求項 6 2～6 4 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 6 6】 前記第一の光源からの出射光は、前記第一の波長の光に対する前記対物レンズの倍率が略 0 となるように略平行光として前記対物レンズに入射し、前記第二の光源からの出射光は、前記第二の波長の光に対する前記対物レンズの倍率が第一の所定の値となるように発散光として前記対物レンズに入射し、前記第三の光源からの出射光は、前記第三の波長の光に対する前記対物レンズの倍率が第二の所定の値となるように発散光として前記対物レンズに入射することを特徴とする請求項 6 2～6 5 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 6 7】 前記開口制御素子は、第一、第二および第三の誘電体多層膜を有することを特徴とする請求項 6 2～6 6 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 6 8】 前記第一の誘電体多層膜は、前記対物レンズの有効径より小さい第一の直径より小さい第二の直径の円形の領域内にのみ形成されており、前記第二の誘電体多層膜は、前記第二の直径の円形の領域外かつ前記第一の直径の円形の領域内にのみ形成されており、前記第三の誘電体多層膜は、前記第一の直径の円形の領域外にのみ形成されていることを特徴とする請求項 6 7 記載の光ヘッド装置。

【請求項 6 9】 前記第一の誘電体多層膜は、前記第一の波長の光、前記第二の波長の光、前記第三の波長の光を殆んど全て透過させ、

前記第二の誘電体多層膜は、前記第一の波長の光、前記第二の波長の光を殆んど全て透過させ、前記第三の波長の光を殆んど全て反射させ、

前記第三の誘電体多層膜は、前記第一の波長の光を殆んど全て透過させ、前記第二の波長の光、前記第三の波長の光を殆んど全て反射させることを特徴とする請求項 6 7 または 6 8 記載の光ヘッド装置。

【請求項 7 0】 前記第一の波長に対し、前記第一の誘電体多層膜を透過する光と前記第二の誘電体多層膜を透過する光と前記第三の誘電体多層膜を透過する光との位相差は、略  $2\pi$  の整数倍に調整されており、

前記第二の波長に対し、前記第一の誘電体多層膜を透過する光と前記第二の誘電体多層膜を透過する光との位相差は、略  $2\pi$  の整数倍に調整されていることを特徴とする請求項 6 7 ～ 6 9 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 7 1】 前記第一、第二および第三の誘電体多層膜は、いずれも高屈折率層と低屈折率層とを交互に積層した構成であることを特徴とする請求項 6 7 ～ 7 0 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 7 2】 前記第一、第二および第三の誘電体多層膜は、ガラス基板上に形成されていることを特徴とする請求項 6 7 記載の光ヘッド装置。

【請求項 7 3】 前記第一、第二および第三の誘電体多層膜は、前記対物レンズ上に形成されていることを特徴とする請求項 6 7 記載の光ヘッド装置。

【請求項 7 4】 前記第一の球面収差補正素子は、前記第二の光源と前記開口制御素子との間に設けられており、前記第二の波長の光に対して位相分布を変化させ、前記第二の球面収差補正素子は、前記第三の光源と前記開口制御素子との間に設けられており、前記第三の波長の光に対して位相分布を変化させることを特徴とする請求項 6 6 記載の光ヘッド装置。

【請求項 7 5】 前記第一の球面収差補正素子は、前記第二の波長の光に対する位相分布の変化が前記対物レンズの前記第一の所定の値の倍率における球面収差を補正するように設計されており、前記第二の球面収差補正素子は、前記第三の波長の光に対する位相分布の変化が前記対物レンズの前記第二の所定の値の倍率における球面収差を補正するように設計されていることを特徴とする請求項 7 4 記載の光ヘッド装置。

【請求項 7 6】 前記第一および第二の球面収差補正素子の一方の面は、平面であり、他方の面は、非球面であることを特徴とする請求項 7 4 または 7 5 記載の光ヘッド装置。

【請求項 7 7】 前記第一の球面収差補正素子は、第一のレンズと一体化されており、前記第二の球面収差補正素子は、第二のレンズと一体化されていることを特徴とする請求項 7 4 ～ 7 6 のいずれか 1 項に記載の光ヘッド装置。

【請求項 7 8】 前記対物レンズを前記第二の光記録媒体のラジアル方向に傾けることで、前記対物レンズと前

記第一の球面収差補正素子との中心ずれに起因するコマ収差を補正し、

前記対物レンズを前記第三の光記録媒体のラジアル方向に傾けることで、前記対物レンズと前記第二の球面収差補正素子との中心ずれに起因するコマ収差を補正することを特徴とする請求項 6 2 記載の光ヘッド装置。

【請求項 7 9】 前記第一、第二および第三の光源と前記開口制御素子との間に第一および第二のリレーレンズをさらに有することを特徴とする請求項 6 2 記載の光ヘッド装置。

【請求項 8 0】 前記第一および第二のリレーレンズのどちらか一方を光軸方向に移動させることで、前記第一の光記録媒体の基板厚ずれに起因する球面収差を補正することを特徴とする請求項 7 9 記載の光ヘッド装置。

【請求項 8 1】 前記第一および第二のリレーレンズのどちらか一方を前記第二の光記録媒体のラジアル方向に傾けるかまたは移動させることで、前記対物レンズと前記第一の球面収差補正素子との中心ずれに起因するコマ収差を補正し、

前記第一および第二のリレーレンズのどちらか一方を前記第三の光記録媒体のラジアル方向に傾けるかまたは移動させることで、前記対物レンズと前記第二の球面収差補正素子との中心ずれに起因するコマ収差を補正することを特徴とする請求項 7 9 または 8 0 記載の光ヘッド装置。

【請求項 8 2】 前記第一および第二のリレーレンズのどちらか一方は、正弦条件を満たさないように設計されることを特徴とする請求項 8 1 記載の光ヘッド装置。

【請求項 8 3】 請求項 1 ～ 2 0、4 1 ～ 6 1 記載の光ヘッド装置と、

前記光記録媒体への記録信号に基づいて前記光源への入力信号を生成すると共に前記光検出器からの出力信号に基づいて前記光記録媒体からの再生信号を生成する記録再生回路と、

前記入力信号の伝達経路を切り換える切換回路と、前記光記録媒体の種類に応じて前記切換回路の動作を制御する制御回路と、

を有することを特徴とする光学式情報記録再生装置。

【請求項 8 4】 前記記録再生回路は、前記第一の光記録媒体への記録信号に基づいて前記第一の光源への第一の入力信号を生成すると共に、前記光検出器からの出力信号に基づいて前記第一の光記録媒体からの再生信号を生成する第一の記録再生回路と、前記第二の光記録媒体への記録信号に基づいて前記第二の光源への第二の入力信号を生成すると共に前記光検出器からの出力信号に基づいて前記第二の光記録媒体からの再生信号を生成する第二の記録再生回路と、から構成され、

前記切換回路は、

前記第一の記録再生回路から前記第一の光源への前記第

10

20

30

40

50



一の入力信号の伝達経路、前記第二の記録再生回路から前記第二の光源への前記第二の入力信号の伝達経路を切り換え、

前記制御回路は、

前記第一の光記録媒体が挿入された場合は前記第一の入力信号が前記第一の記録再生回路から前記第一の光源へ伝達され、前記第二の光記録媒体が挿入された場合は前記第二の入力信号が前記第二の記録再生回路から前記第二の光源へ伝達されるように前記切換回路の動作を制御することを特徴とする請求項 8 3 記載の光学式情報記録再生装置。

【請求項 8 5】 前記記録再生回路は、

前記第一および第二の光記録媒体への記録信号に基づいて前記第一および第二の光源への第一および第二の入力信号をそれぞれ生成すると共に、前記光検出器からの出力信号に基づいて前記第一および第二の光記録媒体からの再生信号を生成する単一の記録再生回路から構成され、

前記切換回路は、

前記記録再生回路から前記第一および第二の光源への前記第一および第二の入力信号の伝達経路を切り換え、

前記制御回路は、

前記第一の光記録媒体が挿入された場合は前記第一の入力信号が前記記録再生回路から前記第一の光源へ伝達され、前記第二の光記録媒体が挿入された場合は前記第二の入力信号が前記記録再生回路から前記第二の光源へ伝達されるように前記切換回路の動作を制御することを特徴とする請求項 8 3 記載の光学式情報記録再生装置。

【請求項 8 6】 請求項 2 1 ~ 4 0、6 2 ~ 8 2 記載の光ヘッド装置と、

前記光記録媒体への記録信号に基づいて前記光源への入力信号を生成すると共に前記光検出器からの出力信号に基づいて前記光記録媒体からの再生信号を生成する記録再生回路と、

前記入力信号の伝達経路を切り換える切換回路と、

前記光記録媒体の種類に応じて前記切換回路の動作を制御する制御回路と、

を有することを特徴とする光学式情報記録再生装置。

【請求項 8 7】 前記記録再生回路は、

前記第一の光記録媒体への記録信号に基づいて前記第一の光源への第一の入力信号を生成すると共に、前記光検出器からの出力信号に基づいて前記第一の光記録媒体からの再生信号を生成する第一の記録再生回路と、

前記第二の光記録媒体への記録信号に基づいて前記第二の光源への第二の入力信号を生成すると共に、前記光検出器からの出力信号に基づいて前記第二の光記録媒体からの再生信号を生成する第二の記録再生回路と、

前記第三の光記録媒体への記録信号に基づいて前記第三の光源への第三の入力信号を生成すると共に、前記光検出器からの出力信号に基づいて前記第三の光記録媒体か

らの再生信号を生成する第三の記録再生回路と、から構成され、

前記切換回路は、

前記第一の記録再生回路から前記第一の光源への前記第一の入力信号の伝達経路、前記第二の記録再生回路から前記第二の光源への前記第二の入力信号の伝達経路、前記第三の記録再生回路から前記第三の光源への前記第三の入力信号の伝達経路を切り換え、

前記制御回路は、

前記第一の光記録媒体が挿入された場合は前記第一の入力信号が前記第一の記録再生回路から前記第一の光源へ伝達され、前記第二の光記録媒体が挿入された場合は前記第二の入力信号が前記第二の記録再生回路から前記第二の光源へ伝達され、前記第三の光記録媒体が挿入された場合は前記第三の入力信号が前記第三の記録再生回路から前記第三の光源へ伝達されるように前記切換回路の動作を制御することを特徴とする請求項 8 6 記載の光学式情報記録再生装置。

【請求項 8 8】 前記記録再生回路は、

前記第一、第二および第三の光記録媒体への記録信号に基づいて前記第一、第二および第三の光源への第一、第二および第三の入力信号をそれぞれ生成すると共に、前記光検出器からの出力信号に基づいて前記第一、第二および第三の光記録媒体からの再生信号を生成する単一の記録再生回路から構成され、

前記切換回路は、

前記記録再生回路から前記第一、第二および第三の光源への前記第一、第二および第三の入力信号の伝達経路を切り換え、

前記制御回路は、前記第一の光記録媒体が挿入された場合は前記第一の入力信号が前記記録再生回路から前記第一の光源へ伝達され、前記第二の光記録媒体が挿入された場合は前記第二の入力信号が前記記録再生回路から前記第二の光源へ伝達され、前記第三の光記録媒体が挿入された場合は前記第三の入力信号が前記記録再生回路から前記第三の光源へ伝達されるように前記切換回路の動作を制御することを特徴とする請求項 8 6 記載の光学式情報記録再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】本発明は、基板厚さが異なる複数種類の光記録媒体に対して記録や再生を行うための光ヘッド装置および光学式情報記録再生装置に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】光学式情報記録再生装置における記録密度は、光ヘッド装置が光記録媒体上に形成する集光スポットの径の 2 乗に反比例する。すなわち、集光スポットの径が小さいほど記録密度は高くなる。集光スポットの径は、光ヘッド装置における光源の波長に比例し、対物レンズの開口数に反比例する。すなわち、光源の波長が

短く対物レンズの開口数が高いほど集光スポットの径は小さくなる。

【0003】一方、光記録媒体が対物レンズに対して傾くと、コマ収差により集光スポットの形状が乱れ、記録再生特性が悪化する。コマ収差は、光源の波長に反比例し、対物レンズの開口数の3乗および光記録媒体の基板厚さに比例する。従って、光記録媒体の基板厚さが同じ場合、光源の波長が短く対物レンズの開口数が高いほど記録再生特性に対する光記録媒体の傾きのマージンは狭くなる。

【0004】よって、記録密度を高めるために光源の波長を短く対物レンズの開口数を高くした光学式情報記録再生装置においては、記録再生特性に対する光記録媒体の傾きのマージンを確保するために、光記録媒体の基板厚さを薄くしている。

【0005】容量650MBのCD（コンパクトディスク）規格においては光源の波長は780nm、対物レンズの開口数は0.45、ディスクの基板厚さは1.2mmである。容量4.7GBのDVD（デジタルバーサタイルディスク）規格においては光源の波長は650nm、対物レンズの開口数は0.6、ディスクの基板厚さは0.6mmである。

【0006】通常の光ヘッド装置は、対物レンズがある基板厚さのディスクに対して球面収差を打ち消すように設計されているため、別の基板厚さのディスクに対して記録や再生を行う場合、球面収差が残留し、正しく記録や再生を行うことができない。そこで、DVD規格のディスクとCD規格のディスクのいずれに対しても記録や再生を行うことができる互換の機能を有する光ヘッド装置が提案されている。

【0007】DVD規格のディスクとCD規格のディスクとの両方に対して記録や再生を行うことができる従来の光ヘッド装置の第一の例として、特開平10-334504号公報に記載された光ヘッド装置がある。図24にこの光ヘッド装置の構成を示す。

【0008】図24において、光学系1fおよび光学系1gは、半導体レーザと、ディスクからの反射光を受光する光検出器を備えている。光学系1f内の半導体レーザの波長は650nm、光学系1g内の半導体レーザの波長は780nmである。干渉フィルタ2cは、波長650nmの光を透過させ、波長780nmの光を反射させる働きをする。

【0009】光学系1f内の半導体レーザからの出射光は、干渉フィルタ2c、波長選択フィルタ3cを透過し、平行光として対物レンズ4bに入射し、基板厚さ0.6mmのDVD規格のディスク5b上に集光される。ディスク5bからの反射光は、対物レンズ4b、波長選択フィルタ3c、干渉フィルタ2cを逆向きに透過し、光学系1f内の光検出器で受光される。

【0010】また、光学系1g内の半導体レーザからの

出射光は、干渉フィルタ2cで反射され、波長選択フィルタ3cを透過し、平行光として対物レンズ4bに入射し、基板厚さ1.2mmのCD規格のディスク5c上に集光される。ディスク5cからの反射光は、対物レンズ4b、波長選択フィルタ3cを逆向きに透過し、干渉フィルタ2cで反射され、光学系1g内の光検出器で受光される。対物レンズ4bは、対物レンズ4bに平行光として入射した波長650nmの光が厚さ0.6mmの基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有する。

【0011】図25(a)は、波長選択フィルタ3cの平面図、図25(b)は、波長選択フィルタ3cの断面図である。波長選択フィルタ3cは、ガラス基板8c上に同心円状の位相フィルタボタン6bおよび誘電体多層膜7fが形成された構成である。図中に点線で示す対物レンズ4bの有効径を2dとしたとき、位相フィルタボタン6bはこれより小さい直径2eの円形の領域内にのみ形成されている。

【0012】位相フィルタボタン6bの断面は、図のような4レベルの階段状である。位相フィルタボタン6bの各段の高さは、各段におけるボタンのある部分とない部分を通る光の位相差が波長650nmに対して $2\pi$ （0と等価）となるように設定されている。このとき、この位相差は、波長780nmに対しては $1.67\pi$ （ $-0.33\pi$ と等価）となる。

【0013】従って、位相フィルタボタン6bは、波長650nmの光に対しては位相分布を変化させず、波長780nmの光に対しては位相分布を変化させる。波長選択フィルタ3cを用いない場合、対物レンズ4bに平行光として入射した波長780nmの光が厚さ1.2mmの基板を透過する際には球面収差が残留する。これに対し、位相フィルタボタン6bは、波長780nmの光に対する位相分布の変化が残留する球面収差を低減するように設計されている。

【0014】一方、誘電体多層膜7fは、直径2eの円形の領域外にのみ形成されている。誘電体多層膜7fは、波長650nmの光を全て透過させ、波長780nmの光を全て反射させる働きをする。これと共に、波長650nmに対し、直径2eの円形の領域内を通る光と領域外を通る光との位相差を $2\pi$ の整数倍に調整する働きをする。すなわち、波長選択フィルタ3cにおいて、波長650nmの光は全て透過し、波長780nmの光は直径2eの円形の領域内では全て透過し、直径2eの円形の領域外では全て反射される。従って、対物レンズ4bの焦点距離をfbとすると、波長650nm、780nmの光に対する実効的な開口数はそれぞれ $d/fb$ 、 $e/fb$ で与えられる。例えば $d/fb=0.6$ 、 $e/fb=0.45$ に設定される。

【0015】DVD規格のディスクとCD規格のディスクとの両方に対して記録や再生を行うことができる従来

の光ヘッド装置の第二の例として、特開平9-274730号公報に記載された光ヘッド装置がある。図26にこの光ヘッド装置の構成を示す。

【0016】モジュール27aおよびモジュール27bは、半導体レーザと、ディスクからの反射光を受光する光検出器を備えている。モジュール27a内の半導体レーザの波長は650nm、モジュール27b内の半導体レーザの波長は780nmである。干渉フィルタ2cは、波長650nmの光を透過させ、波長780nmの光を反射させる働きをする。

【0017】モジュール27a内の半導体レーザからの出射光は、干渉フィルタ2c、コリメータレンズ10d、開口制御素子21cを透過し、平行光として対物レンズ4bに入射し、基板厚さ0.6mmのDVD規格のディスク5b上に集光される。ディスク5bからの反射光は、対物レンズ4b、開口制御素子21c、コリメータレンズ10d、干渉フィルタ2cを逆向きに透過し、モジュール27a内の光検出器で受光される。

【0018】また、モジュール27b内の半導体レーザからの出射光は、干渉フィルタ2cで反射され、コリメータレンズ10d、開口制御素子21cを透過し、発散光として対物レンズ4bに入射し、基板厚さ1.2mmのCD規格のディスク5c上に集光される。ディスク5cからの反射光は、対物レンズ4b、開口制御素子21c、コリメータレンズ10dを逆向きに透過し、干渉フィルタ2cで反射され、モジュール27b内の光検出器で受光される。

【0019】対物レンズ4bは、対物レンズ4bに平行光として入射した波長650nmの光が厚さ0.6mmの基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有する。対物レンズ4bに平行光として入射した波長780nmの光が厚さ1.2mmの基板を透過する際には球面収差が残留するが、対物レンズ4bに発散光として波長780nmの光を入射させると、対物レンズ4bの倍率変化に伴う新たな球面収差が生じ、これが残留する球面収差を低減する方向に働く。

【0020】図27(a)は、開口制御素子21c平面図、図27(b)は、開口制御素子21cの断面図である。開口制御素子21cは、ガラス基板8c上に誘電体多層膜7gおよび位相補償膜28が形成された構成である。図中に点線で示す対物レンズ4bの有効径を2dとしたとき、誘電体多層膜7gは、これより小さい直径2eの円形の領域外にのみ形成されている。誘電体多層膜7gは、波長650nmの光を全て透過させ、波長780nmの光を全て反射させる働きをする。

【0021】すなわち、開口制御素子21cにおいて、波長650nmの光は、全て透過し、波長780nmの光は、直径2eの円形の領域内では全て透過し、直径2eの円形の領域外では全て反射される。従って、対物レンズ4bの焦点距離をfbとすると、波長650nm、

780nmの光に対する実効的な開口数は、それぞれ $d/fb$ 、 $e/fb$ で与えられる。例えば、 $d/fb=0.6$ 、 $e/fb=0.45$ に設定される。

【0022】一方、位相補償膜28は、直径2eの円形の領域内にのみ形成されている。位相補償膜28は、波長650nmに対し、直径2eの円形の領域内を通る光と領域外を通る光との位相差を $2\pi$ の整数倍に調整する働きをする。

【0023】

10 【発明が解決しようとする課題】近年、記録密度をさらに高めるために光源の波長をさらに短く対物レンズの開口数をさらに高くし、光記録媒体の基板厚さをさらに薄くした次世代規格が提案されている。例えば、文献「インターナショナル・シンポジウム・オン・オプティカル・メモリー2000、テクニカルダイジェスト、24頁～25頁」には、光源の波長を405nm、対物レンズの開口数を0.7、ディスクの基板厚さを0.12mmとした容量17GBの次世代規格が提案されている。この場合、次世代規格のディスクと従来のDVD規格のディスクやCD規格のディスクとのいずれに対しても記録や再生を行うことができる互換の機能を有する光ヘッド装置が望まれる。

【0024】第一の例として、図24に示す従来の光ヘッド装置における波長選択フィルタを、光源の波長405nm、対物レンズの開口数0.7、ディスクの基板厚さ0.1mmの次世代規格と、従来のDVD規格との互換の方法として適用する場合を考える。基板厚さ0.1mmの次世代規格のディスクに対しては、波長405nmの半導体レーザを用い、基板厚さ0.6mmのDVD規格のディスクに対しては波長650nmの半導体レーザを用いて記録や再生を行う。対物レンズは、対物レンズに平行光として入射した波長405nmの光が厚さ0.1mmの基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有する。

【0025】波長選択フィルタにおける位相フィルタパタンの断面は、5レベルの階段状である。位相フィルタパタンの各段の高さは、各段におけるパタンのある部分とない部分を通る光の位相差が波長405nmに対して $2\pi$ (0と等価)となるように設定されている。このとき、この位相差は、波長650nmに対しては $1.25\pi$ ( $-0.75\pi$ と等価)となる。

【0026】従って、位相フィルタパタンは、波長405nmの光に対しては位相分布を変化させず、波長650nmの光に対しては位相分布を変化させる。波長選択フィルタを用いない場合、対物レンズに平行光として入射した波長650nmの光が厚さ0.6mmの基板を透過する際には球面収差が残留する。位相フィルタパタンは、波長650nmの光に対する位相分布の変化が残留する球面収差を低減するように設計されている。図28に位相フィルタパタンの設計結果を示す。左側の列は、

対物レンズの焦点距離で規格化した対物レンズへの入射光の高さである。右側の列は、対応する位相フィルタパタンの段数である。

【0027】一方、誘電体多層膜は、波長405nmの光を全て透過させ、波長650nmの光を全て反射させる働きをする。これと共に、波長405nmに対し、円形の領域内を通る光と領域外を通る光との位相差を $2\pi$ の整数倍に調整する働きをする。すなわち、波長選択フィルタにおいて、波長405nmの光は全て透過し、波長650nmの光は円形の領域内では全て透過し、円形の領域外では全て反射される。波長405nm、650nmの光に対する実効的な開口数はそれぞれ例えば0.7、0.6に設定される。

【0028】図29に、波長650nmの光に対する波面収差の標準偏差が最小になる最良像面の位置における波面収差の計算結果を示す。図29(a)は、波長選択フィルタを用いない場合である。図29(b)は、波長選択フィルタを用いた場合である。図中の横軸は波面収差、縦軸は対物レンズの焦点距離で規格化した対物レンズへの入射光の高さである。波面収差の標準偏差は、波長選択フィルタを用いることにより0.054 $\lambda$ に低減される。この値は、マレシャルの規範として知られている波面収差の標準偏差の許容値である0.07 $\lambda$ を下回っている。

【0029】しかしながら、図28に示すように、位相フィルタパターンを構成する同心円状の領域の数が19と多いため、各領域の幅が狭くなる。対物レンズの焦点距離を例えば2.57mmとすると、最も外側の領域の幅は約7.7 $\mu$ mになる。通常、断面がマルチレベルの階段状の素子は、複数のフォトリソを用いてフォトリソグラフィの手法により作製するが、フォトリソの目合わせには2~3 $\mu$ mの誤差が存在する。従って、上記のような各領域の幅が狭い位相フィルタパターンを有する波長選択フィルタを所望の精度で作製することは極めて困難である。

【0030】第二の例として、図26に示す従来の光ヘッド装置における対物レンズの倍率変化を、光源の波長405nm、対物レンズの開口数0.7、ディスクの基板厚さ0.1mmの次世代規格と従来のDVD規格との互換の方法として適用する場合を考える。基板厚さ0.1mmの次世代規格のディスクに対しては波長405nmの半導体レーザを用い、基板厚さ0.6mmのDVD規格のディスクに対しては波長650nmの半導体レーザを用いて記録や再生を行う。対物レンズは、対物レンズに平行光として入射した波長405nmの光が厚さ0.1mmの基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有する。

【0031】波長405nmの光は、対物レンズに平行光として入射するため、波長405nmの光に対する対物レンズの倍率は0である。一方、対物レンズに平行光

として入射した波長650nmの光が厚さ0.6mmの基板を透過する際には球面収差が残留する。対物レンズに発散光として波長650nmの光を入射させると、対物レンズの倍率変化に伴う新たな球面収差が生じ、これが残留する球面収差を低減する方向に働く。波長650nmの光に対する対物レンズの倍率は0.076に設定される。

【0032】開口制御素子における誘電体多層膜は、波長405nmの光を全て透過させ、波長650nmの光を全て反射させる働きをする。すなわち、開口制御素子において、波長405nmの光は全て透過し、波長650nmの光は円形の領域内では全て透過し、円形の領域外では全て反射される。波長405nm、650nmの光に対する実効的な開口数は、それぞれ例えば0.7、0.6に設定される。一方、位相補償膜は、波長405nmに対し、円形の領域内を通る光と領域外を通る光との位相差を $2\pi$ の整数倍に調整する働きをする。

【0033】図30に、波長650nmの光に対する波面収差の標準偏差が最小になる最良像面の位置における波面収差の計算結果を示す。図中の横軸は波面収差、縦軸は対物レンズの焦点距離で規格化した対物レンズへの入射光の高さである。波面収差の標準偏差は、対物レンズの倍率変化を用いることにより0.095 $\lambda$ に低減される。しかしながら、この値は、マレシャルの規範として知られている波面収差の標準偏差の許容値である0.07 $\lambda$ を上回っている。

【0034】図24に示す従来の光ヘッド装置における波長選択フィルタと、図26に示す従来の光ヘッド装置における対物レンズの倍率変化とを組み合わせ、次世代規格と、従来のDVD規格との互換の方法として適用する場合も考えられる。

【0035】しかしながら、波長選択フィルタにおける位相フィルタパターンは、波長650nmの光に対する位相分布の変化が、対物レンズに平行光として入射した波長650nmの光が厚さ0.6mmの基板を透過する際に残留する球面収差を低減するように設計されている。従って、対物レンズに発散光として入射した波長650nmの光が厚さ0.6mmの基板を透過する際に残留する球面収差は、波長選択フィルタを用いることにより低減されず、逆に大きくなってしまう。

【0036】このように、光源の波長が短く対物レンズの開口数が高くなると、図24に示す従来の光ヘッド装置における波長選択フィルタや図26に示す従来の光ヘッド装置における対物レンズの倍率変化という互換の方法が適用できなくなるという課題がある。

【0037】本発明は、基板厚さが異なる複数種類の光記録媒体に対して記録や再生を行うための従来の光ヘッド装置における上記に述べた課題を解決し、記録密度をさらに高めるために光源の波長をさらに短く、対物レンズの開口数をさらに高くし、光記録媒体の基板厚さをさ

10

20

30

40

50

らに薄くした次世代規格の光記録媒体と、従来のDVD規格の光記録媒体やCD規格の光記録媒体とのいずれに対しても記録や再生を行うことができる互換の機能を有する光ヘッド装置および光学式情報記録再生装置を提供することを目的とする。

【0038】

【課題を解決するための手段】かかる目的を達成するために、請求項1記載の発明は、第一の波長の光を出射する第一の光源と、第二の波長の光を出射する第二の光源と、光検出器と、波長選択フィルタと、対物レンズと、を有し、第一の光源からの出射光を波長選択フィルタおよび対物レンズを介して第一の基板厚さの第一の光記録媒体に導き、第二の光源からの出射光を波長選択フィルタおよび対物レンズを介して第二の基板厚さの第二の光記録媒体に導くと共に、第一および第二の光記録媒体からの反射光を対物レンズおよび波長選択フィルタを介して光検出器に導く光学系を形成し、第一の波長の光を用いて第一の光記録媒体に対して記録や再生を行い、第二の波長の光を用いて第二の光記録媒体に対して記録や再生を行う光ヘッド装置において、第一の波長の光に対する対物レンズの倍率と、第二の波長の光に対する対物レンズの倍率とが異なると共に、波長選択フィルタは、対応する対物レンズの倍率における第一の波長の光または第二の波長の光に対して残留する球面収差を低減するように位相分布を変化させることを特徴としている。

【0039】請求項2記載の発明は、請求項1記載の発明において、第一の波長は、第二の波長に比べて短いことを特徴としている。

【0040】請求項3記載の発明は、請求項1または2記載の発明において、第一の基板厚さは、第二の基板厚さに比べて薄いことを特徴としている。

【0041】請求項4記載の発明は、請求項1～3のいずれか1項に記載の発明において、対物レンズは、対物レンズに平行光として入射した第一の波長の光が第一の基板厚さの基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有することを特徴としている。

【0042】請求項5記載の発明は、請求項1～4のいずれか1項に記載の発明において、第一の光源からの出射光は、第一の波長の光に対する対物レンズの倍率が略0となるように略平行光として対物レンズに入射し、第二の光源からの出射光は、第二の波長の光に対する対物レンズの倍率が第一の所定の値となるように発散光として対物レンズに入射することを特徴としている。

【0043】請求項6記載の発明は、請求項1～5のいずれか1項に記載の発明において、波長選択フィルタは、同心円状の位相フィルタパターンと、第一および第二の誘電体多層膜と、を有することを特徴としている。

【0044】請求項7記載の発明は、請求項6記載の発明において、位相フィルタパターンは、第一の波長の光に対して位相分布を殆んど変化させず、第二の波長の光に

対して位相分布を変化させることを特徴としている。

【0045】請求項8記載の発明は、請求項6または7記載の発明において、位相フィルタパターンは、第二の波長の光に対する位相分布の変化が対物レンズの第一の所定の値の倍率における球面収差を低減するように設計されていることを特徴としている。

【0046】請求項9記載の発明は、請求項6～8のいずれか1項に記載の発明において、位相フィルタパターンは、対物レンズの有効径より小さい第一の直径の円形の領域内にのみ形成されていることを特徴としている。

【0047】請求項10記載の発明は、請求項6～9のいずれか1項に記載の発明において、位相フィルタパターンの断面は、マルチレベルの階段状であることを特徴としている。

【0048】請求項11記載の発明は、請求項10記載の発明において、位相フィルタパターンの各段の高さは、各段におけるパターンのある部分と、ない部分とを通る光の位相差が、第一の波長に対して略 $2\pi$ となるように設定されていることを特徴としている。

【0049】請求項12記載の発明は、請求項6記載の発明において、第一の誘電体多層膜は、第一の直径の円形の領域内にのみ形成されており、第二の誘電体多層膜は、第一の直径の円形の領域外にのみ形成されていることを特徴としている。

【0050】請求項13記載の発明は、請求項6または12記載の発明において、第一の誘電体多層膜は、第一の波長の光、第二の波長の光を殆んど全て透過させ、第二の誘電体多層膜は、第一の波長の光を殆んど全て透過させ、第二の波長の光を殆んど全て反射させることを特徴としている。

【0051】請求項14記載の発明は、請求項6、12、13のいずれか1項に記載の発明において、第一の波長に対し、第一の誘電体多層膜を透過する光と、第二の誘電体多層膜を透過する光との位相差は、略 $2\pi$ の整数倍に調整されていることを特徴としている。

【0052】請求項15記載の発明は、請求項6、12～14のいずれか1項に記載の発明において、第一および第二の誘電体多層膜は、いずれも高屈折率層と低屈折率層とを交互に積層した構成であることを特徴としている。

【0053】請求項16記載の発明は、請求項6、12～15のいずれか1項に記載の発明において、第一の誘電体多層膜における各層の厚さと、第二の誘電体多層膜における各層の厚とが異なることを特徴としている。

【0054】請求項17記載の発明は、請求項6記載の発明において、位相フィルタパターンは、第一のガラス基板上に形成されており、第一および第二の誘電体多層膜は、第二のガラス基板上に形成されていることを特徴としている。

【0055】請求項18記載の発明は、請求項17記載

10

20

30

40

50

の発明において、第一のガラス基板の位相フィルタボタンが形成されていない面と、第二のガラス基板の第一および第二の誘電体多層膜が形成されていない面とが接着剤により貼り合わされていることを特徴としている。

【0056】請求項19記載の発明は、請求項6記載の発明において、位相フィルタボタンは、ガラスまたはプラスチックの成形により基板と一体で形成されていることを特徴としている。

【0057】請求項20記載の発明は、請求項6記載の発明において、位相フィルタボタンまたは第一および第二の誘電体多層膜が対物レンズ上に形成されていることを特徴としている。

【0058】請求項21記載の発明は、請求項1記載の発明において、第三の波長の光を出射する第三の光源をさらに有し、第三の光源からの出射光を波長選択フィルタおよび対物レンズを介して第三の基板厚さの第三の光記録媒体に導くと共に、第三の光記録媒体からの反射光を対物レンズおよび波長選択フィルタを介して光検出器に導く光学系をさらに形成し、第三の波長の光を用いて第三の光記録媒体に対して記録や再生を行い、第一の波長の光に対する対物レンズの倍率と、第三の波長の光に対する対物レンズの倍率とが異なることを特徴としている。

【0059】請求項22記載の発明は、請求項21記載の発明において、第一の波長は、第二の波長に比べて短く、第二の波長は、第三の波長に比べて短いことを特徴としている。

【0060】請求項23記載の発明は、請求項21または22記載の発明において、第一の基板厚さは、第二の基板厚さに比べて薄く、第二の基板厚さは、第三の基板厚さに比べて薄いことを特徴としている。

【0061】請求項24記載の発明は、請求項21～23のいずれか1項に記載の発明において、対物レンズは、対物レンズに平行光として入射した第一の波長の光が第一の基板厚さの基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有することを特徴としている。

【0062】請求項25記載の発明は、請求項21～24のいずれか1項に記載の発明において、第一の光源からの出射光は、第一の波長の光に対する対物レンズの倍率が略0となるように略平行光として対物レンズに入射し、第二の光源からの出射光は、第二の波長の光に対する対物レンズの倍率が第一の所定の値となるように発散光として対物レンズに入射し、第三の光源からの出射光は、第三の波長の光に対する対物レンズの倍率が第二の所定の値となるように発散光として対物レンズに入射することを特徴としている。

【0063】請求項26記載の発明は、請求項21～25のいずれか1項に記載の発明において、波長選択フィルタは、同心円状の位相フィルタボタンと第一、第二および第三の誘電体多層膜を有することを特徴としてい

る。

【0064】請求項27記載の発明は、請求項26記載の発明において、位相フィルタボタンは、第一の波長の光に対して位相分布を殆んど変化させず、第二および第三の波長の光に対して位相分布を変化させることを特徴としている。

【0065】請求項28記載の発明は、請求項26または27記載の発明において、位相フィルタボタンは、第二の波長の光に対する位相分布の変化が対物レンズの第一の所定の倍率における球面収差を低減するように設計されていることを特徴としている。

【0066】請求項29記載の発明は、請求項26～28のいずれか1項に記載の発明において、位相フィルタボタンは、対物レンズの有効径より小さい第一の直径の円形の領域内にのみ形成されていることを特徴としている。

【0067】請求項30記載の発明は、請求項26～29のいずれか1項に記載の発明において、位相フィルタボタンの断面は、マルチレベルの階段状であることを特徴としている。

【0068】請求項31記載の発明は、請求項30記載の発明において、位相フィルタボタンの各段の高さは、各段におけるボタンのある部分と、ない部分とを通る光の位相差が第一の波長に対して略 $2\pi$ となるように設定されていることを特徴としている。

【0069】請求項32記載の発明は、請求項26記載の発明において、第一の誘電体多層膜は、第一の直径より小さい第二の直径の円形の領域内にのみ形成されており、第二の誘電体多層膜は、第二の直径の円形の領域外かつ第一の直径の円形の領域内にのみ形成されており、第三の誘電体多層膜は、第一の直径の円形の領域外にのみ形成されていることを特徴としている。

【0070】請求項33記載の発明は、請求項26または32記載の発明において、第一の誘電体多層膜は、第一の波長の光、第二の波長の光、第三の波長の光を殆んど全て透過させ、第二の誘電体多層膜は、第一の波長の光、第二の波長の光を殆んど全て透過させ、第三の波長の光を殆んど全て反射させ、第三の誘電体多層膜は、第一の波長の光を殆んど全て透過させ、第二の波長の光、第三の波長の光を殆んど全て反射させることを特徴としている。

【0071】請求項34記載の発明は、請求項26、32、33のいずれか1項に記載の発明において、第一の波長に対し、第一の誘電体多層膜を透過する光と、第二の誘電体多層膜を透過する光と、第三の誘電体多層膜を透過する光との位相差は、略 $2\pi$ の整数倍に調整されており、第二の波長に対し、第一の誘電体多層膜を透過する光と第二の誘電体多層膜を透過する光との位相差は、略 $2\pi$ の整数倍に調整されていることを特徴としている。



【0072】請求項35記載の発明は、請求項26、32～34のいずれか1項に記載の発明において、第一、第二および第三の誘電体多層膜は、いずれも高屈折率層と低屈折率層とを交互に積層した構成であることを特徴としている。

【0073】請求項36記載の発明は、請求項26、32～35のいずれか1項に記載の発明において、第一の誘電体多層膜における各層の厚さおよび層数と、第二の誘電体多層膜における各層の厚さおよび層数とが異なり、第二の誘電体多層膜における各層の厚さと、第三の誘電体多層膜における各層の厚さとが異なることを特徴としている。

【0074】請求項37記載の発明は、請求項26記載の発明において、位相フィルタパタンは、第一のガラス基板上に形成されており、第一、第二および第三の誘電体多層膜は、第二のガラス基板上に形成されていることを特徴としている。

【0075】請求項38記載の発明は、請求項37記載の発明において、第一のガラス基板の位相フィルタパタンが形成されていない面と、第二のガラス基板の第一、第二および第三の誘電体多層膜が形成されていない面とが接着剤により貼り合わされていることを特徴としている。

【0076】請求項39記載の発明は、請求項26記載の発明において、位相フィルタパタンは、ガラスまたはプラスチックの成形により基板と一体で形成されていることを特徴としている。

【0077】請求項40記載の発明は、請求項26記載の発明において、位相フィルタパタンまたは第一、第二および第三の誘電体多層膜が対物レンズ上に形成されていることを特徴としている。

【0078】請求項41記載の発明は、第一の波長の光を出射する第一の光源と、第二の波長の光を出射する第二の光源と、光検出器と、開口制御素子と、対物レンズと、を有し、第一の光源からの出射光を開口制御素子および対物レンズを介して第一の基板厚さの第一の光記録媒体に導き、第二の光源からの出射光を開口制御素子および対物レンズを介して第二の基板厚さの第二の光記録媒体に導くと共に、第一および第二の光記録媒体からの反射光を対物レンズおよび開口制御素子を介して光検出器に導く光学系を形成し、第一の波長の光を用いて第一の光記録媒体に対して記録や再生を行い、第二の波長の光を用いて第二の光記録媒体に対して記録や再生を行う光ヘッド装置において、第一の波長の光に対する対物レンズの倍率と、第二の波長の光に対する対物レンズの倍率とが異なると共に、第一の光源または第二の光源と開口制御素子との間に第一の球面収差補正素子をさらに有し、第一の球面収差補正素子は、対応する対物レンズの倍率における第一の波長の光または第二の波長の光に対して残留する球面収差を補正するように位相分布を変化

させることを特徴としている。

【0079】請求項42記載の発明は、請求項41記載の発明において、第一の波長は、第二の波長に比べて短いことを特徴としている。

【0080】請求項43記載の発明は、請求項41または42記載の発明において、第一の基板厚さは、第二の基板厚さに比べて薄いことを特徴としている。

【0081】請求項44記載の発明は、請求項41～43のいずれか1項に記載の発明において、対物レンズは、対物レンズに平行光として入射した第一の波長の光が第一の基板厚さの基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有することを特徴としている。

【0082】請求項45記載の発明は、請求項41～44のいずれか1項に記載の発明において、第一の光源からの出射光は、第一の波長の光に対する対物レンズの倍率が略0となるように略平行光として対物レンズに入射し、第二の光源からの出射光は、第二の波長の光に対する対物レンズの倍率が第一の所定の値となるように発散光として対物レンズに入射することを特徴としている。

【0083】請求項46記載の発明は、請求項41～45のいずれか1項に記載の発明において、開口制御素子は、第一および第二の誘電体多層膜を有することを特徴としている。

【0084】請求項47記載の発明は、請求項46記載の発明において、第一の誘電体多層膜は、対物レンズの有効径より小さい第一の直径の円形の領域内にのみ形成されており、第二の誘電体多層膜は、第一の直径の円形の領域外にのみ形成されていることを特徴としている。

【0085】請求項48記載の発明は、請求項46または47記載の発明において、第一の誘電体多層膜は、第一の波長の光、第二の波長の光を殆んど全て透過させ、第二の誘電体多層膜は、第一の波長の光を殆んど全て透過させ、第二の波長の光を殆んど全て反射させることを特徴としている。

【0086】請求項49記載の発明は、請求項46～48のいずれか1項に記載の発明において、第一の波長に対し、第一の誘電体多層膜を透過する光と、第二の誘電体多層膜を透過する光との位相差は、略 $2\pi$ の整数倍に調整されていることを特徴としている。

【0087】請求項50記載の発明は、請求項46～49のいずれか1項に記載の発明において、第一および第二の誘電体多層膜は、いずれも高屈折率層と低屈折率層とを交互に積層した構成であることを特徴としている。

【0088】請求項51記載の発明は、請求項46記載の発明において、第一および第二の誘電体多層膜は、ガラス基板上に形成されていることを特徴としている。

【0089】請求項52記載の発明は、請求項46記載の発明において、第一および第二の誘電体多層膜は、対物レンズ上に形成されていることを特徴としている。

【0090】請求項53記載の発明は、請求項45記載

の発明において、第一の球面収差補正素子は、第二の光源と開口制御素子との間に設けられており、第二の波長の光に対して位相分布を変化させることを特徴としている。

【0091】請求項54記載の発明は、請求項53記載の発明において、第一の球面収差補正素子は、第二の波長の光に対する位相分布の変化が対物レンズの第一の所定の値の倍率における球面収差を補正するように設計されていることを特徴としている。

【0092】請求項55記載の発明は、請求項53または54記載の発明において、第一の球面収差補正素子の一方の面は、平面であり、他方の面は、非球面であることを特徴としている。

【0093】請求項56記載の発明は、請求項53～55のいずれか1項に記載の発明において、第一の球面収差補正素子は、第一のレンズと一体化されていることを特徴としている。

【0094】請求項57記載の発明は、請求項41記載の発明において、対物レンズを第二の光記録媒体のラジアル方向に傾けることで、対物レンズと第一の球面収差補正素子との中心ずれに起因するコマ収差を補正することを特徴としている。

【0095】請求項58記載の発明は、請求項41記載の発明において、第一および第二の光源と開口制御素子との間に第一および第二のリレーレンズをさらに有することを特徴としている。

【0096】請求項59記載の発明は、請求項58記載の発明において、第一および第二のリレーレンズのどちらか一方を光軸方向に移動させることで、第一の光記録媒体の基板厚ずれに起因する球面収差を補正することを特徴としている。

【0097】請求項60記載の発明は、請求項58または59記載の発明において、第一および第二のリレーレンズのどちらか一方を第二の光記録媒体のラジアル方向に傾けるまたは移動させることで、対物レンズと第一の球面収差補正素子との中心ずれに起因するコマ収差を補正することを特徴としている。

【0098】請求項61記載の発明は、請求項60記載の発明において、第一および第二のリレーレンズのどちらか一方は、正弦条件を満たさないように設計されることを特徴としている。

【0099】請求項62記載の発明は、請求項41記載の発明において、第三の波長の光を出射する第三の光源をさらに有し、第三の光源からの出射光を開口制御素子および対物レンズを介して第三の基板厚さの第三の光記録媒体に導くと共に、第三の光記録媒体からの反射光を対物レンズおよび開口制御素子を介して光検出器に導く光学系をさらに形成し、第三の波長の光を用いて第三の光記録媒体に対して記録や再生を行い、第一の波長の光に対する対物レンズの倍率と第三の波長の光に対する対

物レンズの倍率とが異なると共に、第一の光源または第三の光源と開口制御素子との間に第二の球面収差補正素子をさらに有し、第二の球面収差補正素子は、対応する対物レンズの倍率における第一の波長の光または第三の波長の光に対して残留する球面収差を補正するように位相分布を変化させることを特徴としている。

【0100】請求項63記載の発明は、請求項62記載の発明において、第一の波長は、第二の波長に比べて短く、第二の波長は、第三の波長に比べて短いことを特徴としている。

【0101】請求項64記載の発明は、請求項62または63記載の発明において、第一の基板厚さは、第二の基板厚さに比べて薄く、第二の基板厚さは、第三の基板厚さに比べて薄いことを特徴としている。

【0102】請求項65記載の発明は、請求項62～64のいずれか1項に記載の発明において、対物レンズは、対物レンズに平行光として入射した第一の波長の光が第一の基板厚さの基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有することを特徴としている。

【0103】請求項66記載の発明は、請求項62～65のいずれか1項に記載の発明において、第一の光源からの出射光は、第一の波長の光に対する対物レンズの倍率が略0となるように略平行光として対物レンズに入射し、第二の光源からの出射光は、第二の波長の光に対する対物レンズの倍率が第一の所定の値となるように発散光として対物レンズに入射し、第三の光源からの出射光は、第三の波長の光に対する対物レンズの倍率が第二の所定の値となるように発散光として対物レンズに入射することを特徴としている。

【0104】請求項67記載の発明は、請求項62～66のいずれか1項に記載の発明において、開口制御素子は、第一、第二および第三の誘電体多層膜を有することを特徴としている。

【0105】請求項68記載の発明は、請求項67記載の発明において、第一の誘電体多層膜は、対物レンズの有効径より小さい第一の直径より小さい第二の直径の円形の領域内にのみ形成されており、第二の誘電体多層膜は、第二の直径の円形の領域外かつ第一の直径の円形の領域内にのみ形成されており、第三の誘電体多層膜は、第一の直径の円形の領域外にのみ形成されていることを特徴としている。

【0106】請求項69記載の発明は、請求項67または68記載の発明において、第一の誘電体多層膜は、第一の波長の光、第二の波長の光、第三の波長の光を殆んど全て透過させ、第二の誘電体多層膜は、第一の波長の光、第二の波長の光を殆んど全て透過させ、第三の波長の光を殆んど全て反射させ、第三の誘電体多層膜は、第一の波長の光を殆んど全て透過させ、第二の波長の光、第三の波長の光を殆んど全て反射させることを特徴としている。



【0107】請求項70記載の発明は、請求項67～69のいずれか1項に記載の発明において、第一の波長に対し、第一の誘電体多層膜を透過する光と第二の誘電体多層膜を透過する光と第三の誘電体多層膜を透過する光との位相差は、略 $2\pi$ の整数倍に調整されており、第二の波長に対し、第一の誘電体多層膜を透過する光と第二の誘電体多層膜を透過する光との位相差は、略 $2\pi$ の整数倍に調整されていることを特徴としている。

【0108】請求項71記載の発明は、請求項67～70のいずれか1項に記載の発明において、第一、第二および第三の誘電体多層膜は、いずれも高屈折率層と低屈折率層とを交互に積層した構成であることを特徴としている。

【0109】請求項72記載の発明は、請求項67記載の発明において、第一、第二および第三の誘電体多層膜は、ガラス基板上に形成されていることを特徴としている。

【0110】請求項73記載の発明は、請求項67記載の発明において、第一、第二および第三の誘電体多層膜は、対物レンズ上に形成されていることを特徴としている。

【0111】請求項74記載の発明は、請求項66記載の発明において、第一の球面収差補正素子は、第二の光源と開口制御素子との間に設けられており、第二の波長の光に対して位相分布を変化させ、第二の球面収差補正素子は、第三の光源と開口制御素子との間に設けられており、第三の波長の光に対して位相分布を変化させることを特徴としている。

【0112】請求項75記載の発明は、請求項74記載の発明において、第一の球面収差補正素子は、第二の波長の光に対する位相分布の変化が対物レンズの第一の所定の値の倍率における球面収差を補正するように設計されており、第二の球面収差補正素子は、第三の波長の光に対する位相分布の変化が対物レンズの第二の所定の値の倍率における球面収差を補正するように設計されていることを特徴としている。

【0113】請求項76記載の発明は、請求項74または75記載の発明において、第一および第二の球面収差補正素子の一方の面は、平面であり、他方の面は、非球面であることを特徴としている。

【0114】請求項77記載の発明は、請求項74～76のいずれか1項に記載の発明において、第一の球面収差補正素子は、第一のレンズと一体化されており、第二の球面収差補正素子は、第二のレンズと一体化されていることを特徴としている。

【0115】請求項78記載の発明は、請求項62記載の発明において、対物レンズを第二の光記録媒体のラジアル方向に傾けることで、対物レンズと第一の球面収差補正素子との中心ずれに起因するコマ収差を補正し、対物レンズを第三の光記録媒体のラジアル方向に傾けるこ

とで、対物レンズと第二の球面収差補正素子との中心ずれに起因するコマ収差を補正することを特徴としている。

【0116】請求項79記載の発明は、請求項62記載の発明において、第一、第二および第三の光源と開口制御素子との間に第一および第二のリレーレンズをさらに有することを特徴としている。

【0117】請求項80記載の発明は、請求項79記載の発明において、第一および第二のリレーレンズのどちらか一方を光軸方向に移動させることで、第一の光記録媒体の基板厚ずれに起因する球面収差を補正することを特徴としている。

【0118】請求項81記載の発明は、請求項79または80記載の発明において、第一および第二のリレーレンズのどちらか一方を第二の光記録媒体のラジアル方向に傾けるかまたは移動させることで、対物レンズと第一の球面収差補正素子との中心ずれに起因するコマ収差を補正し、第一および第二のリレーレンズのどちらか一方を第三の光記録媒体のラジアル方向に傾けるかまたは移動させることで、対物レンズと第二の球面収差補正素子との中心ずれに起因するコマ収差を補正することを特徴としている。

【0119】請求項82記載の発明は、請求項81記載の発明において、第一および第二のリレーレンズのどちらか一方は、正弦条件を満たさないように設計されることを特徴としている。

【0120】請求項83記載の発明は、請求項1～20、41～61記載の光ヘッド装置と、光記録媒体への記録信号に基づいて光源への入力信号を生成すると共に光検出器からの出力信号に基づいて光記録媒体からの再生信号を生成する記録再生回路と、入力信号の伝達経路を切り換える切換回路と、光記録媒体の種類に応じて切換回路の動作を制御する制御回路と、を有することを特徴としている。

【0121】請求項84記載の発明は、請求項83記載の発明において、記録再生回路は、第一の光記録媒体への記録信号に基づいて第一の光源への第一の入力信号を生成すると共に、光検出器からの出力信号に基づいて第一の光記録媒体からの再生信号を生成する第一の記録再生回路と、第二の光記録媒体への記録信号に基づいて第二の光源への第二の入力信号を生成すると共に光検出器からの出力信号に基づいて第二の光記録媒体からの再生信号を生成する第二の記録再生回路と、から構成され、切換回路は、第一の記録再生回路から第一の光源への第一の入力信号の伝達経路、第二の記録再生回路から第二の光源への第二の入力信号の伝達経路を切り換え、制御回路は、第一の光記録媒体が挿入された場合は第一の入力信号が第一の記録再生回路から第一の光源へ伝達され、第二の光記録媒体が挿入された場合は第二の入力信号が第二の記録再生回路から第二の光源へ伝達されるよ

うに切換回路の動作を制御することを特徴としている。

【0122】請求項85記載の発明は、請求項83記載の発明において、記録再生回路は、第一および第二の光記録媒体への記録信号に基づいて第一および第二の光源への第一および第二の入力信号をそれぞれ生成すると共に、光検出器からの出力信号に基づいて第一および第二の光記録媒体からの再生信号を生成する単一の記録再生回路から構成され、切換回路は、記録再生回路から第一および第二の光源への第一および第二の入力信号の伝達経路を切り換え、制御回路は、第一の光記録媒体が挿入された場合は第一の入力信号が記録再生回路から第一の光源へ伝達され、第二の光記録媒体が挿入された場合は第二の入力信号が記録再生回路から第二の光源へ伝達されるように切換回路の動作を制御することを特徴としている。

【0123】請求項86記載の発明は、請求項21～40、62～82記載の光ヘッド装置と、光記録媒体への記録信号に基づいて光源への入力信号を生成すると共に光検出器からの出力信号に基づいて光記録媒体からの再生信号を生成する記録再生回路と、入力信号の伝達経路を切り換える切換回路と、光記録媒体の種類に応じて切換回路の動作を制御する制御回路と、を有することを特徴としている。

【0124】請求項87記載の発明は、請求項86記載の発明において、記録再生回路は、第一の光記録媒体への記録信号に基づいて第一の光源への第一の入力信号を生成すると共に、光検出器からの出力信号に基づいて第一の光記録媒体からの再生信号を生成する第一の記録再生回路と、第二の光記録媒体への記録信号に基づいて第二の光源への第二の入力信号を生成すると共に、光検出器からの出力信号に基づいて第二の光記録媒体からの再生信号を生成する第二の記録再生回路と、第三の光記録媒体への記録信号に基づいて第三の光源への第三の入力信号を生成すると共に、光検出器からの出力信号に基づいて第三の光記録媒体からの再生信号を生成する第三の記録再生回路と、から構成され、切換回路は、第一の記録再生回路から第一の光源への第一の入力信号の伝達経路、第二の記録再生回路から第二の光源への第二の入力信号の伝達経路、第三の記録再生回路から第三の光源への第三の入力信号の伝達経路を切り換え、制御回路は、第一の光記録媒体が挿入された場合は第一の入力信号が第一の記録再生回路から第一の光源へ伝達され、第二の光記録媒体が挿入された場合は第二の入力信号が第二の記録再生回路から第二の光源へ伝達され、第三の光記録媒体が挿入された場合は第三の入力信号が第三の記録再生回路から第三の光源へ伝達されるように切換回路の動作を制御することを特徴としている。

【0125】請求項88記載の発明は、請求項86記載の発明において、記録再生回路は、第一、第二および第三の光記録媒体への記録信号に基づいて第一、第二およ

び第三の光源への第一、第二および第三の入力信号をそれぞれ生成すると共に、光検出器からの出力信号に基づいて第一、第二および第三の光記録媒体からの再生信号を生成する単一の記録再生回路から構成され、切換回路は、記録再生回路から第一、第二および第三の光源への第一、第二および第三の入力信号の伝達経路を切り換え、制御回路は、第一の光記録媒体が挿入された場合は第一の入力信号が記録再生回路から第一の光源へ伝達され、第二の光記録媒体が挿入された場合は第二の入力信号が記録再生回路から第二の光源へ伝達され、第三の光記録媒体が挿入された場合は第三の入力信号が記録再生回路から第三の光源へ伝達されるように切換回路の動作を制御することを特徴としている。

【0126】本発明の光ヘッド装置および光学式情報記録再生装置においては、第一の波長の光または第二の波長の光に対し、対物レンズの倍率変化を用いることにより残留する球面収差が低減され、波長選択フィルタを用いることにより対応する対物レンズの倍率におけるこの低減後の球面収差がさらに低減される。波長選択フィルタのみを用いて残留する球面収差を低減する場合、波長選択フィルタで低減すべき球面収差が大きい場合、波長選択フィルタにおける位相フィルタパターンを構成する同心円状の領域の数が多く各領域の幅が狭くなり、波長選択フィルタを所望の精度で作製することは困難である。

【0127】しかしながら、対物レンズの倍率変化を用いて残留する球面収差を低減し、波長選択フィルタを用いてこの低減後の球面収差をさらに低減する場合、波長選択フィルタで低減すべき球面収差が小さい場合、波長選択フィルタにおける位相フィルタパターンを構成する同心円状の領域の数が少なく各領域の幅が広くなり、波長選択フィルタを所望の精度で作製することは容易である。また、対物レンズの倍率変化のみを用いて残留する球面収差を低減する場合、低減後の球面収差は許容値を上回る。しかしながら、対物レンズの倍率変化を用いて残留する球面収差を低減し、波長選択フィルタを用いてこの低減後の球面収差をさらに低減する場合、さらなる低減後の球面収差は許容値を下回る。

【0128】従って、本発明によれば、記録密度をさらに高めるために光源の波長をさらに短く対物レンズの開口径数をさらに高くし、光記録媒体の基板厚さをさらに薄くした次世代規格の光記録媒体と従来のDVD規格の光記録媒体やCD規格の光記録媒体のいずれに対しても記録や再生を行うことができる互換の機能を有する光ヘッド装置および光学式情報記録再生装置を実現できる。

【0129】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を添付図面を参照しながら詳細に説明する。

【0130】（光ヘッド装置の第一の実施の形態）図1に本発明の光ヘッド装置の第一の実施の形態を示す。光学系1aおよび光学系1bは、半導体レーザと、ディスク

クからの反射光を受光する光検出器を備えている。光学系 1 a 内の半導体レーザの波長は 405 nm、光学系 1 b 内の半導体レーザの波長は 650 nm である。

【0131】干渉フィルタ 2 a は、波長 405 nm の光を透過させ、波長 650 nm の光を反射させる働きをする。光学系 1 a 内の半導体レーザからの出射光は、干渉フィルタ 2 a、および波長選択フィルタ 3 a を透過し、平行光として対物レンズ 4 a に入射し、基板厚さ 0.1 mm の次世代規格のディスク 5 a 上に集光される。ディスク 5 a からの反射光は、対物レンズ 4 a、波長選択フィルタ 3 a、および干渉フィルタ 2 a を逆向きに透過し、光学系 1 a 内の光検出器で受光される。

【0132】また、光学系 1 b 内の半導体レーザからの出射光は、干渉フィルタ 2 a で反射され、波長選択フィルタ 3 a を透過し、発散光として対物レンズ 4 a に入射し、基板厚さ 0.6 mm の DVD 規格のディスク 5 b 上に集光される。ディスク 5 b からの反射光は、対物レンズ 4 a、波長選択フィルタ 3 a を逆向きに透過し、干渉フィルタ 2 a で反射され、光学系 1 b 内の光検出器で受光される。

【0133】対物レンズ 4 a は、対物レンズ 4 a に平行光として入射した波長 405 nm の光が厚さ 0.1 mm の基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有する。波長 405 nm の光は、対物レンズ 4 a に平行光として入射するため、波長 405 nm の光に対する対物レンズ 4 a の倍率は 0 である。

【0134】これに対し、対物レンズ 4 a に平行光として入射した波長 650 nm の光が厚さ 0.6 mm の基板を透過する際には球面収差が残留する。対物レンズ 4 a に発散光として波長 650 nm の光を入射させると、対物レンズ 4 a の倍率変化に伴う新たな球面収差が生じ、これが残留する球面収差を低減する方向に働く。波長 650 nm の光に対する対物レンズ 4 a の倍率は、0.076 に設定される。

【0135】ここで、物点から対物レンズ 4 a の所定の高さ  $r$  に向かう近軸光線が対物レンズ 4 a の光軸となす角を  $\theta_o$ 、対物レンズ 4 a の所定の高さ  $r$  から像点に向かう近軸光線が対物レンズ 4 a の光軸となす角を  $\theta_i$  とすると、対物レンズ 4 a の倍率は、 $\tan \theta_o / \tan \theta_i$  で与えられる。

【0136】物点から対物レンズ 4 a の物体側主点までの距離を  $l_o$ 、対物レンズ 4 a の像側主点から像点までの距離を  $l_i$  とすると、 $\tan \theta_o = r / l_o$ 、 $\tan \theta_i = r / l_i$  となる。波長 405 nm の光は、対物レンズ 4 a に平行光として入射するため  $\theta_o = 0$ 、 $l_o = \infty$  であり、対物レンズ 4 a の倍率は 0 となる。波長 650 nm の光は、対物レンズ 4 a に発散光として入射するため  $\theta_o \neq 0$ 、 $l_o$  は有限である。このときの  $l_o$  の値すなわち物点の位置は、対物レンズ 4 a の倍率が 0.076 となるように定められる。

【0137】図 2 (a) は、波長選択フィルタ 3 a の一方の面から見た平面図である。図 2 (b) は、波長選択フィルタ 3 a の他方の面から見た平面図である。図 2

(c) は、波長選択フィルタ 3 a の断面図である。波長選択フィルタ 3 a には、ガラス基板 8 a 上に同心円状の位相フィルタパタン 6 a が形成されている。また、ガラス基板 8 b 上に誘電体多層膜 7 a、7 b が形成されている。波長選択フィルタ 3 a は、ガラス基板 8 a の位相フィルタパタン 6 a が形成されていない面と、ガラス基板 8 b の誘電体多層膜 7 a、7 b が形成されていない面とが接着剤により貼り合わされた構成である。

【0138】図中に点線で示す対物レンズ 4 a の有効径を 2 a としたとき、位相フィルタパタン 6 a は、これより小さい直径 2 b の円形の領域内にのみ形成されている。位相フィルタパタン 6 a の断面は、図 2 (c) のような 4 レベルの階段状である。位相フィルタパタン 6 a の各段の高さは、各段におけるパタンのある部分とない部分とを通る光の位相差が波長 405 nm に対して  $2\pi$  (0 と等価) となるように設定されている。このとき、この位相差は、波長 650 nm に対しては  $1.25\pi$  ( $-0.75\pi$  と等価) となる。

【0139】従って、位相フィルタパタン 6 a は、波長 405 nm の光に対しては位相分布を変化させず、波長 650 nm の光に対しては位相分布を変化させる。波長選択フィルタ 3 a を用いない場合、対物レンズ 4 a の倍率を 0.076 に設定することにより、対物レンズ 4 a に平行光として入射した波長 650 nm の光が厚さ 0.6 mm の基板を透過する際に残留する球面収差が低減される。位相フィルタパタン 6 a は、波長 650 nm の光に対する位相分布の変化が対物レンズ 4 a の倍率 0.076 におけるこの低減後の球面収差をさらに低減するように設計されている。

【0140】一方、誘電体多層膜 7 a は、直径 2 b の円形の領域内にのみ形成されており、誘電体多層膜 7 b は、直径 2 b の円形の領域外にのみ形成されている。誘電体多層膜 7 a は、波長 405 nm の光、波長 650 nm の光を全て透過させる働きをし、誘電体多層膜 7 b は、波長 405 nm の光を全て透過させ、波長 650 nm の光を全て反射させる働きをする。

【0141】また、波長 405 nm に対し、誘電体多層膜 7 a を透過する光と誘電体多層膜 7 b を透過する光との位相差は  $2\pi$  の整数倍に調整されている。すなわち、波長選択フィルタ 3 a において、波長 405 nm の光は全て透過し、波長 650 nm の光は直径 2 b の円形の領域内では全て透過し、直径 2 b の円形の領域外では全て反射される。従って、対物レンズ 4 a の焦点距離を  $f_a$  とすると、波長 405 nm、650 nm の光に対する実効的な開口数はそれぞれ  $a/f_a$ 、 $b/f_a$  で与えられる。例えば  $a/f_a = 0.7$ 、 $b/f_a = 0.6$  に設定される。

【0142】図3(a)に光学系1aの構成を示す。波長405nmの半導体レーザー9aからの出射光は、コリメータレンズ10aで平行光化される。平行光化された出射光は、偏光ビームスプリッタ11にP偏光として入射してほぼ100%が透過し、1/4波長板12を透過して直線偏光から円偏光に変換されてディスク5aに向かう。

【0143】ディスク5aからの反射光は、1/4波長板12を透過して円偏光から往路と偏光方向が直交した直線偏光に変換される。変換された反射光は、偏光ビームスプリッタ11にS偏光として入射してほぼ100%が反射され、円筒レンズ13a、レンズ14aを透過して光検出器15aで受光される。光検出器15aは、円筒レンズ13a、レンズ14aの2つの焦線の中に設置されている。

【0144】図3(b)に光検出器15aの構成を示す。ディスク5aからの反射光は、4分割された受光部17a~17d上に光スポット16aを形成する。受光部17a~17dからの出力をそれぞれV17a~V17dで表わすと、フォーカス誤差信号は、公知の非点収差法により $(V17a+V17d)-(V17b+V17c)$ の演算から得られる。トラック誤差信号は、公知のプッシュプル法により $(V17a+V17b)-(V17c+V17d)$ の演算から得られる。ディスク5aからのRF信号は、 $V17a+V17b+V17c+V17d$ の演算から得られる。

【0145】図4(a)に光学系1bの構成を示す。波長650nmの半導体レーザー9bからの出射光は、コリメータレンズ10bで平行光化され、ハーフミラー18aを約50%が透過し、凹レンズ19aを透過して平行光から発散光に変換されてディスク5bに向かう。

【0146】ディスク5bからの反射光は、凹レンズ19aを透過して収束光から平行光に変換され、ハーフミラー18aで約50%が反射され、円筒レンズ13b、レンズ14bを透過して光検出器15bで受光される。光検出器15bは、円筒レンズ13b、レンズ14bの2つの焦線の中に設置されている。

【0147】図4(b)に光検出器15bの構成を示す。ディスク5bからの反射光は、4分割された受光部17e~17h上に光スポット16bを形成する。受光部17e~17hからの出力をそれぞれV17e~V17hで表わすと、フォーカス誤差信号は、公知の非点収差法により $(V17e+V17h)-(V17f+V17g)$ の演算から得られる。トラック誤差信号は、公知の位相差法により $V17e+V17h, V17f+V17g$ の位相差から得られる。ディスク5bからのRF信号は、 $V17e+V17f+V17g+V17h$ の演算から得られる。

【0148】図5に波長選択フィルタ3aにおける位相フィルタボタン6aの設計結果を示す。左側の列は、対

物レンズ4aの焦点距離で規格化した対物レンズ4aへの入射光の高さである。右側の列は、対応する位相フィルタボタン6aの段数である。

【0149】図6に、波長650nmの光に対する波面収差の標準偏差が最小になる最良像面の位置における波面収差の計算結果を示す。図6(a)は、対物レンズ4aの倍率変化を用いて波長選択フィルタ3aを用いない場合である。図6(b)は、対物レンズ4aの倍率変化を用いてさらに波長選択フィルタ3aを用いた場合である。図中の横軸は波面収差、縦軸は対物レンズ4aの焦点距離で規格化した対物レンズ4aへの入射光の高さである。

【0150】波面収差の標準偏差は、対物レンズ4aの倍率変化を用いてさらに波長選択フィルタ3aを用いることにより0.047λに低減される。この値は、マレシャルの規範として知られている波面収差の標準偏差の許容値である0.07λを下回っている。また、図5に示すように、位相フィルタボタン6aを構成する同心円状の領域の数が5と少ないため各領域の幅が広がる。対物レンズ4aの焦点距離を例えば2.57mmとすると、最も外側の領域の幅は、約59.1μmになる。従って、上記のような各領域の幅が広い位相フィルタボタン6aを有する波長選択フィルタ3aを所望の精度で作製することは極めて容易である。

【0151】波長選択フィルタ3aにおける誘電体多層膜7a、7bは、いずれも例えば二酸化チタンを材質とする高屈折率層と、例えば二酸化シリコンを材質とする低屈折率層とを交互に積層した構成である。図7(a)に誘電体多層膜7a、7bに対する透過率の波長依存性の設計結果、図7(b)に誘電体多層膜7a、7bに対する透過光の位相の波長依存性の設計結果を示す。

【0152】図中の点線、一点鎖線はそれぞれ誘電体多層膜7a、7bに対する設計結果である。図7(a)より、誘電体多層膜7aは、波長405nmの光、波長650nmの光を全て透過させ、誘電体多層膜7bは、波長405nmの光を全て透過させ、波長650nmの光を全て反射させることがわかる。

【0153】また、図7(b)より、波長405nmに対し、誘電体多層膜7a、7bの透過光の位相が一致していることから、透過光の位相差が2πの整数倍に調整されていることがわかる。誘電体多層膜の各層の厚さを厚くすると、図7(a)に示す透過率の波長依存性の曲線、図7(b)に示す透過光の位相の波長依存性の曲線は、共に右側にシフトする。

【0154】また、各層の厚さを薄くすると、図7(a)に示す透過率の波長依存性の曲線、図7(b)に示す透過光の位相の波長依存性の曲線は、共に左側にシフトする。従って、誘電体多層膜7aに関しては波長405nm、650nmにおける透過率がほぼ100%となる範囲内で各層の厚さを変化させる。誘電体多層膜7

bに関しては波長405nmにおける透過率がほぼ100%、波長650nmにおける透過率がほぼ0%となる範囲内で各層の厚さを変化させる。波長405nmにおける誘電体多層膜7a、7bの透過光の位相が一致するように調整する。

【0155】これらにより、上記の設計が実現できる。波長405nmにおいては一つの誘電体多層膜の透過光の位相を基準にして残り一つの誘電体多層膜の透過光の位相を調整すれば良いので、誘電体多層膜の各層の厚さという一つの自由度があればこの調整は可能である。

【0156】（光ヘッド装置の第二の実施の形態）図8に本発明の光ヘッド装置の第二の実施の形態を示す。光学系1a、光学系1bおよび光学系1cは、半導体レーザと、ディスクからの反射光を受光する光検出器を備えている。光学系1a内の半導体レーザの波長は405nm、光学系1b内の半導体レーザの波長は650nm、光学系1c内の半導体レーザの波長は780nmである。

【0157】干渉フィルタ2aは、波長405nmの光を透過させ、波長650nmの光を反射させる働きをする。また、干渉フィルタ2bは、波長405nm、650nmの光を透過させ、波長780nmの光を反射させる働きをする。光学系1a内の半導体レーザからの出射光は、干渉フィルタ2a、干渉フィルタ2b、および波長選択フィルタ3bを透過し、平行光として対物レンズ4aに入射し、基板厚さ0.1mmの次世代規格のディスク5a上に集光される。

【0158】ディスク5aからの反射光は、対物レンズ4a、波長選択フィルタ3b、干渉フィルタ2b、および干渉フィルタ2aを逆向きに透過し、光学系1a内の光検出器で受光される。

【0159】また、光学系1b内の半導体レーザからの出射光は、干渉フィルタ2aで反射され、干渉フィルタ2b、波長選択フィルタ3bを透過し、発散光として対物レンズ4aに入射し、基板厚さ0.6mmのDVD規格のディスク5b上に集光される。ディスク5bからの反射光は、対物レンズ4a、波長選択フィルタ3b、および干渉フィルタ2bを逆向きに透過し、干渉フィルタ2aで反射され、光学系1b内の光検出器で受光される。

【0160】さらに、光学系1c内の半導体レーザからの出射光は、干渉フィルタ2bで反射され、波長選択フィルタ3bを透過し、発散光として対物レンズ4aに入射し、基板厚さ1.2mmのCD規格のディスク5c上に集光される。ディスク5cからの反射光は、対物レンズ4a、波長選択フィルタ3bを逆向きに透過し、干渉フィルタ2bで反射され、光学系1c内の光検出器で受光される。

【0161】対物レンズ4aは、対物レンズ4aに平行光として入射した波長405nmの光が厚さ0.1mm

の基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有する。

【0162】波長405nmの光は、対物レンズ4aに平行光として入射するため、波長405nmの光に対する対物レンズ4aの倍率は0である。これに対し、対物レンズ4aに平行光として入射した波長650nmの光が厚さ0.6mmの基板を透過する際には球面収差が残留する。対物レンズ4aに発散光として波長650nmの光を入射させると、対物レンズ4aの倍率変化に伴う新たな球面収差が生じ、これが残留する球面収差を低減する方向に働く。波長650nmの光に対する対物レンズ4aの倍率は0.076に設定される。

【0163】また、対物レンズ4aに平行光として入射した波長780nmの光が厚さ1.2mmの基板を透過する際には球面収差が残留する。対物レンズ4aに発散光として波長780nmの光を入射させると、対物レンズ4aの倍率変化に伴う新たな球面収差が生じ、これが残留する球面収差を低減する方向に働く。波長780nmの光に対する対物レンズ4aの倍率は、0.096に設定される。

【0164】ここで、物点から対物レンズ4aの所定の高さrに向かう近軸光線が対物レンズ4aの光軸となす角を $\theta_o$ 、対物レンズ4aの所定の高さrから像点に向かう近軸光線が対物レンズ4aの光軸となす角を $\theta_i$ とすると、対物レンズ4aの倍率は、 $\tan \theta_o / \tan \theta_i$ で与えられる。

【0165】物点から対物レンズ4aの物体側主点までの距離を $l_o$ 、対物レンズ4aの像側主点から像点までの距離を $l_i$ とすると、 $\tan \theta_o = r / l_o$ 、 $\tan \theta_i = r / l_i$ となる。波長405nmの光は、対物レンズ4aに平行光として入射するため $\theta_o = 0$ 、 $l_o = \infty$ であり、対物レンズ4aの倍率は0となる。

【0166】波長650nmの光は、対物レンズ4aに発散光として入射するため $\theta_o \neq 0$ 、 $l_o$ は有限である。このときの $l_o$ の値すなわち物点の位置は、対物レンズ4aの倍率が0.076となるように定められる。波長780nmの光は、対物レンズ4aに発散光として入射するため $\theta_o \neq 0$ 、 $l_o$ は有限である。このときの $l_o$ の値すなわち物点の位置は、対物レンズ4aの倍率が0.096となるように定められる。

【0167】図9(a)は、波長選択フィルタ3bの一方の面から見た平面図である。図9(b)は、波長選択フィルタ3bの他方の面から見た平面図である。図9

(c)は、波長選択フィルタ3bの断面図である。波長選択フィルタ3bには、ガラス基板8a上に同心円状の位相フィルタパタン6aが形成されている。また、ガラス基板8b上に誘電体多層膜7c、7d、7eが形成されている。波長選択フィルタ3bは、ガラス基板8aの位相フィルタパタン6aが形成されていない面と、ガラス基板8bの誘電体多層膜7c、7d、7eが形成され

ていない面とが接着剤により貼り合わされた構成である。

【0168】図中に点線で示す対物レンズ4 aの有効径を2 aとしたとき、位相フィルタボタン6 aは、これより小さい直径2 bの円形の領域内にのみ形成されている。位相フィルタボタン6 aの断面は、図9 (c) のような4レベルの階段状である。位相フィルタボタン6 aの各段の高さは、各段におけるボタンのある部分とない部分とを通る光の位相差が波長405 nmに対して $2\pi$  (0と等価) となるように設定されている。このとき、この位相差は、波長650 nm、780 nmに対してはそれぞれ $1.25\pi$  ( $-0.75\pi$ と等価)、 $1.04\pi$  ( $-0.96\pi$ と等価) となる。

【0169】従って、位相フィルタボタン6 aは、波長405 nmの光に対しては位相分布を変化させず、波長650 nm、780 nmの光に対しては位相分布を変化させる。波長選択フィルタ3 bを用いない場合、対物レンズ4 aの倍率を0.076に設定することにより、対物レンズ4 aに平行光として入射した波長650 nmの光が厚さ0.6 mmの基板を透過する際に残留する球面収差が低減される。位相フィルタボタン6 aは、波長650 nmの光に対する位相分布の変化が対物レンズ4 aの倍率0.076におけるこの低減後の球面収差をさらに低減するように設計されている。

【0170】一方、誘電体多層膜7 cは、直径2 bよりさらに小さい直径2 cの円形の領域内にのみ形成されている。誘電体多層膜7 dは、直径2 cの円形の領域外かつ直径2 bの円形の領域内にのみ形成されている。誘電体多層膜7 eは、直径2 bの円形の領域外にのみ形成されている。誘電体多層膜7 cは、波長405 nmの光、波長650 nmの光、波長780 nmの光を全て透過させる働きをする。誘電体多層膜7 dは、波長405 nmの光、波長650 nmの光を全て透過させ、波長780 nmの光を全て反射させる働きをする。誘電体多層膜7 eは、波長405 nmの光を全て透過させ、波長650 nmの光、波長780 nmの光を全て反射させる働きをする。

【0171】また、波長405 nmに対し、誘電体多層膜7 cを透過する光と誘電体多層膜7 dを透過する光と誘電体多層膜7 eを透過する光の位相差は $2\pi$ の整数倍に調整されている。波長650 nmに対し、誘電体多層膜7 cを透過する光と誘電体多層膜7 dを透過する光の位相差は $2\pi$ の整数倍に調整されている。すなわち、波長選択フィルタ3 bにおいて、波長405 nmの光は全て透過し、波長650 nmの光は直径2 bの円形の領域内では全て透過し、直径2 bの円形の領域外では全て反射される。波長780 nmの光は、直径2 cの円形の領域内では全て透過し、直径2 cの円形の領域外では全て反射される。

【0172】従って、対物レンズ4 aの焦点距離をf a

とすると、波長405 nm、650 nm、780 nmの光に対する実効的な開口数はそれぞれ $a/fa$ 、 $b/fa$ 、 $c/fa$ で与えられる。例えば $a/fa=0.7$ 、 $b/fa=0.6$ 、 $c/fa=0.45$ に設定される。

【0173】光学系1 aの構成は、図3 (a) に示す通りである。光学系1 aに備えられた光検出器15 aの構成は、図3 (b) に示す通りである。また、光学系1 bの構成は、図4 (a) に示す通りである。光学系1 bに備えられた光検出器15 bの構成は、図4 (b) に示す通りである。

【0174】図10 (a) に光学系1 cの構成を示す。波長780 nmの半導体レーザ9 cからの出射光は、回折光学素子20により0次光、 $\pm 1$ 次回折光の3つの光に分割される。これらの光は、コリメータレンズ10 cで平行光化され、ハーフミラー18 bを約50%が透過し、凹レンズ19 bを透過して平行光から発散光に変換されてディスク5 cに向かう。ディスク5 cからの3つの反射光は、凹レンズ19 bを透過して収束光から平行光に変換され、ハーフミラー18 bで約50%が反射され、円筒レンズ13 c、レンズ14 cを透過して光検出器15 cで受光される。光検出器15 cは、円筒レンズ13 c、レンズ14 cの2つの焦線の中に設置されている。

【0175】図10 (b) に光検出器15 cの構成を示す。ディスク5 cからの3つの反射光のうち回折光学素子20からの0次光は、4分割された受光部17 i~17 l上に光スポット16 cを形成する。回折光学素子20からの $+1$ 次回折光は、受光部17 m上に光スポット16 dを形成する。回折光学素子20からの $-1$ 次回折光は受光部17 n上に光スポット16 eを形成する。

【0176】受光部17 i~17 nからの出力をそれぞれV17 i~V17 nで表わすと、フォーカス誤差信号は、公知の非点収差法により $(V17 i + V17 l) - (V17 j + V17 k)$ の演算から得られる。トラック誤差信号は、公知の3ビーム法により $V17 m - V17 n$ の演算から得られる。ディスク5 cからのRF信号は、 $V17 i + V17 j + V17 k + V17 l$ の演算から得られる。

【0177】波長選択フィルタ3 bにおける位相フィルタボタン6 aの設計結果は、図5に示す通りである。また、波長650 nmの光に対する波面収差の標準偏差が最小になる最良像面の位置における波面収差の計算結果は、図6に示す通りである。

【0178】図11に、波長780 nmの光に対する波面収差の標準偏差が最小になる最良像面の位置における波面収差の計算結果を示す。図11 (a) は、対物レンズ4 aの倍率変化を用いて波長選択フィルタ3 bを用いない場合である。図11 (b) は、対物レンズ4 aの倍率変化を用いてさらに波長選択フィルタ3 bを用いた場合である。図中の横軸は波面収差、縦軸は対物レンズ4



aの焦点距離で規格化した対物レンズ4aへの入射光の高さである。

【0179】波面収差の標準偏差は、対物レンズ4aの倍率変化を用いてさらに波長選択フィルタ3bを用いることにより0.021λに低減される。この値は、マレシャルの規範として知られている波面収差の標準偏差の許容値である0.07λを下回っている。また、図5に示すように、位相フィルタパタン6aを構成する同心円状の領域の数が5と少ないため各領域の幅が広がる。対物レンズ4aの焦点距離を例えば2.57mmとすると、最も外側の領域の幅は約59.1μmになる。従って、上記のような各領域の幅が広い位相フィルタパタン6aを有する波長選択フィルタ3bを所望の精度で作製することは極めて容易である。

【0180】波長選択フィルタ3bにおける誘電体多層膜7c、7d、7eは、いずれも例えば二酸化チタンを材質とする高屈折率層と、例えば二酸化シリコンを材質とする低屈折率層とを交互に積層した構成である。図7(a)に誘電体多層膜7c、7d、7eに対する透過率の波長依存性の設計結果、図7(b)に誘電体多層膜7c、7d、7eに対する透過光の位相の波長依存性の設計結果を示す。図中の実線、点線、一点鎖線は、それぞれ誘電体多層膜7c、7d、7eに対する設計結果である。

【0181】図7(a)より、誘電体多層膜7cは、波長405nmの光、波長650nmの光、波長780nmの光を全て透過させる。誘電体多層膜7dは、波長405nmの光、波長650nmの光を全て透過させ、波長780nmの光を全て反射させる。誘電体多層膜7eは、波長405nmの光を全て透過させ、波長650nmの光、波長780nmの光を全て反射させることがわかる。

【0182】また、図7(b)より、波長405nmに対し、誘電体多層膜7c、7d、7eの透過光の位相が一致していることから、透過光の位相差が2πの整数倍に調整されていることがわかる。また、波長650nmに対し、誘電体多層膜7c、7dの透過光の位相が一致していることから、透過光の位相差が2πの整数倍に調整されていることがわかる。

【0183】誘電体多層膜の各層の厚さを厚くすると、図7(a)に示す透過率の波長依存性の曲線、図7

(b)に示す透過光の位相の波長依存性の曲線は、共に右側にシフトする。これに対して、各層の厚さを薄くすると、図7(a)に示す透過率の波長依存性の曲線、図7(b)に示す透過光の位相の波長依存性の曲線は、共に左側にシフトする。

【0184】また、誘電体多層膜の層数を増やすと、図7(a)に示す透過率の波長依存性の曲線、図7(b)に示す透過光の位相の波長依存性の曲線は、共に傾きが急になる。これに対し、層数を減らすと、図7(a)に

示す透過率の波長依存性の曲線、図7(b)に示す透過光の位相の波長依存性の曲線は、共に傾きが緩やかになる。

【0185】従って、誘電体多層膜7cに関しては、波長405nm、650nm、780nmにおける透過率がほぼ100%となる範囲内で各層の厚さおよび層数を変化させる。誘電体多層膜7dに関しては、波長405nm、650nmにおける透過率がほぼ100%、波長780nmにおける透過率がほぼ0%となる範囲内で各層の厚さおよび層数を変化させる。誘電体多層膜7eに関しては、波長405nmにおける透過率がほぼ100%、波長650nm、780nmにおける透過率がほぼ0%となる範囲内で各層の厚さおよび層数を変化させる。波長405nmにおける誘電体多層膜7c、7d、7eの透過光の位相が一致し、波長650nmにおける誘電体多層膜7c、7dの透過光の位相が一致するように調整する。

【0186】これらの条件を満足することにより、上記の設計が実現できる。波長405nmにおいては一つの誘電体多層膜の透過光の位相を基準にして残り二つの誘電体多層膜の透過光の位相を調整すれば良い。従って、誘電体多層膜の各層の厚さおよび層数という二つの自由度があればこの調整は可能である。また、波長650nmにおいては一つの誘電体多層膜の透過光の位相を基準にして残り一つの誘電体多層膜の透過光の位相を調整すれば良い。従って、誘電体多層膜の各層の厚さという一つの自由度があればこの調整は可能である。

【0187】図1、図8に示す実施の形態においては、波長選択フィルタ3a、3bは、対物レンズ4aと共にアクチュエータによりフォーカシング方向、トラッキング方向に駆動される。対物レンズ4aのみがアクチュエータによりフォーカシング方向、トラッキング方向に駆動される場合、波長選択フィルタ3a、3bにおける位相フィルタパタン6aの中心と対物レンズ4aの中心がフォーカシング方向、トラッキング方向にずれる。よって、対物レンズ4aに発散光として入射し位相フィルタパタン6aで位相分布の変化を受ける光に収差が生じることになる。しかしながら、波長選択フィルタ3a、3bが対物レンズ4aと共にアクチュエータによりフォーカシング方向、トラッキング方向に駆動される場合、このような収差は生じない。

【0188】図1、図8に示す実施の形態においては、波長選択フィルタ3a、3bの法線は、対物レンズ4aの光軸に対して僅かに傾いている。波長選択フィルタ3a、3bの法線が対物レンズ4aの光軸に対して平行な場合、波長選択フィルタ3a、3bで反射された迷光が光学系1a、1b、1cに備えられた光検出器15a、15b、15cに入射し、フォーカス誤差信号、トラッキング誤差信号にオフセットが生じる。しかしながら、波長選択フィルタ3a、3bの法線が対物レンズ4aの光軸

に対して僅かに傾いている場合、このようなオフセットは生じない。

【0189】図2に示す波長選択フィルタ3a、図9に示す波長選択フィルタ3bは、ガラス基板8a上に位相フィルタパタン6aが形成され、ガラス基板8b上に誘電体多層膜7a、7b、7c、7d、7eが形成された構成である。これに対し、位相フィルタパタンがガラスまたはプラスチックの成形により基板と一体で形成された構成も可能である。また、位相フィルタパタンまたは誘電体多層膜が対物レンズ上に形成された構成も可能である。

【0190】（光ヘッド装置の第三の実施の形態）図12に本発明の光ヘッド装置の第三の実施の形態を示す。光学系1aおよび光学系1dは、半導体レーザと、ディスクからの反射光を受光する光検出器とを備えている。光学系1a内の半導体レーザの波長は405nm、光学系1d内の半導体レーザの波長は650nmである。干渉フィルタ2aは、波長405nmの光を透過させ、波長650nmの光を反射させる働きをする。

【0191】光学系1a内の半導体レーザからの出射光は、干渉フィルタ2a、開口制御素子21aを透過し、平行光として対物レンズ4aに入射し、基板厚さ0.1mmの次世代規格のディスク5a上に集光される。ディスク5aからの反射光は、対物レンズ4a、開口制御素子21a、干渉フィルタ2aを逆向きに透過し、光学系1a内の光検出器で受光される。

【0192】また、光学系1d内の半導体レーザからの出射光は、干渉フィルタ2aで反射され、開口制御素子21aを透過し、発散光として対物レンズ4aに入射し、基板厚さ0.6mmのDVD規格のディスク5b上に集光される。ディスク5bからの反射光は、対物レンズ4a、開口制御素子21aを逆向きに透過し、干渉フィルタ2aで反射され、光学系1d内の光検出器で受光される。対物レンズ4aは、対物レンズ4aに平行光として入射した波長405nmの光が厚さ0.1mmの基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有する。

【0193】波長405nmの光は、対物レンズ4aに平行光として入射するため、波長405nmの光に対する対物レンズ4aの倍率は0である。これに対し、対物レンズ4aに平行光として入射した波長650nmの光が厚さ0.6mmの基板を透過する際には球面収差が残留する。対物レンズ4aに発散光として波長650nmの光を入射させると、対物レンズ4aの倍率変化に伴う新たな球面収差が生じ、これが残留する球面収差を低減する方向に働く。

【0194】波長650nmの光に対する対物レンズ4aの倍率は、0.076に設定される。ここで、物点から対物レンズ4aの所定の高さrに向かう近軸光線が対物レンズ4aの光軸となす角を $\theta_o$ 、対物レンズ4aの

所定の高さrから像点に向かう近軸光線が対物レンズ4aの光軸となす角を $\theta_i$ とすると、対物レンズ4aの倍率は、 $\tan \theta_o / \tan \theta_i$ で与えられる。物点から対物レンズ4aの物体側主点までの距離を $l_o$ 、対物レンズ4aの像側主点から像点までの距離を $l_i$ とすると、 $\tan \theta_o = r / l_o$ 、 $\tan \theta_i = r / l_i$ となる。

【0195】波長405nmの光は、対物レンズ4aに平行光として入射するため $\theta_o = 0$ 、 $l_o = \infty$ であり、対物レンズ4aの倍率は、0となる。波長650nmの光は、対物レンズ4aに発散光として入射するため $\theta_o \neq 0$ 、 $l_o$ は有限であり、このときの $l_o$ の値すなわち物点の位置は、対物レンズ4aの倍率が0.076となるように定められる。

【0196】図13(a)は、開口制御素子21aの平面図、図13(b)は、開口制御素子21aの断面図である。開口制御素子21aは、ガラス基板8b上に誘電体多層膜7a、7bが形成された構成である。図中に点線で示す対物レンズ4aの有効径を2aとしたとき、誘電体多層膜7aは、これより小さい直径2bの円形の領域内のみ形成されている。誘電体多層膜7bは、直径2bの円形の領域外にのみ形成されている。

【0197】誘電体多層膜7aは、波長405nmの光、波長650nmの光を全て透過させる働きをする。誘電体多層膜7bは、波長405nmの光を全て透過させ、波長650nmの光を全て反射させる働きをする。また、波長405nmに対し、誘電体多層膜7aを透過する光と誘電体多層膜7bを透過する光との位相差は、 $2\pi$ の整数倍に調整されている。すなわち、開口制御素子21aにおいて、波長405nmの光は全て透過し、波長650nmの光は直径2bの円形の領域内では全て透過し、直径2bの円形の領域外では全て反射される。従って、対物レンズ4aの焦点距離をf aとすると、波長405nm、650nmの光に対する実効的な開口数はそれぞれ $a / f a$ 、 $b / f a$ で与えられる。例えば $a / f a = 0.7$ 、 $b / f a = 0.6$ に設定される。

【0198】光学系1aの構成は、図3(a)に示す通りであり、光学系1aに備えられた光検出器15aの構成は、図3(b)に示す通りである。

【0199】図14に光学系1dの構成を示す。波長650nmの半導体レーザ9bからの出射光は、コリメータレンズ10bで平行光化され、ハーフミラー18aを約50%が透過し、球面収差補正素子22a、凹レンズ19aを透過して平行光から発散光に変換されてディスク5bに向かう。ディスク5bからの反射光は、凹レンズ19a、球面収差補正素子22aを透過して収束光から平行光に変換され、ハーフミラー18aで約50%が反射され、円筒レンズ13b、レンズ14bを透過して光検出器15bで受光される。光検出器15bは、円筒レンズ13b、レンズ14bの2つの焦線の間設置



されている。光学系1dに備えられた光検出器15bの構成は、図4(b)に示す通りである。

【0200】球面収差補正素子22aの一方の面は平面、他方の面は非球面である。球面収差補正素子22aは、波長650nmの光に対して位相分布を変化させる。球面収差補正素子22aを用いない場合、対物レンズ4aの倍率を0.076に設定することにより、対物レンズ4aに平行光として入射した波長650nmの光が厚さ0.6mmの基板を透過する際に残留する球面収差が低減される。球面収差補正素子22aは、波長650nmの光に対する位相分布の変化が対物レンズ4aの倍率0.076におけるこの低減後の球面収差をほぼ完全に補正するように設計されている。なお、球面収差補正素子22aは、凹レンズ19aと一体化することも可能である。

【0201】開口制御素子21aにおける誘電体多層膜7a、7bは、いずれも例えば二酸化チタンを材質とする高屈折率層と、例えば二酸化シリコンを材質とする低屈折率層とを交互に積層した構成である。誘電体多層膜7a、7bに対する透過率の波長依存性の設計結果は、図7(a)に示す通りである。誘電体多層膜7a、7bに対する透過光の位相の波長依存性の設計結果は、図7(b)に示す通りである。

【0202】(光ヘッド装置の第四の実施の形態)図15に本発明の光ヘッド装置の第四の実施の形態を示す。光学系1a、光学系1dおよび光学系1eは、半導体レーザと、ディスクからの反射光を受光する光検出器とを備えている。光学系1a内の半導体レーザの波長は405nm、光学系1d内の半導体レーザの波長は650nm、光学系1e内の半導体レーザの波長は780nmである。干渉フィルタ2aは、波長405nmの光を透過させ、波長650nmの光を反射させる働きをする。また、干渉フィルタ2bは、波長405nm、650nmの光を透過させ、波長780nmの光を反射させる働きをする。

【0203】光学系1a内の半導体レーザからの出射光は、干渉フィルタ2a、干渉フィルタ2b、開口制御素子21bを透過し、平行光として対物レンズ4aに入射し、基板厚さ0.1mmの次世代規格のディスク5a上に集光される。ディスク5aからの反射光は、対物レンズ4a、開口制御素子21b、干渉フィルタ2b、干渉フィルタ2aを逆向きに透過し、光学系1a内の光検出器で受光される。

【0204】また、光学系1d内の半導体レーザからの出射光は、干渉フィルタ2aで反射され、干渉フィルタ2b、開口制御素子21bを透過し、発散光として対物レンズ4aに入射し、基板厚さ0.6mmのDVD規格のディスク5b上に集光される。ディスク5bからの反射光は、対物レンズ4a、開口制御素子21b、干渉フィルタ2bを逆向きに透過し、干渉フィルタ2aで反射

され、光学系1d内の光検出器で受光される。

【0205】さらに、光学系1e内の半導体レーザからの出射光は、干渉フィルタ2bで反射され、開口制御素子21bを透過し、発散光として対物レンズ4aに入射し、基板厚さ1.2mmのCD規格のディスク5c上に集光される。ディスク5cからの反射光は、対物レンズ4a、開口制御素子21bを逆向きに透過し、干渉フィルタ2bで反射され、光学系1e内の光検出器で受光される。対物レンズ4aは、対物レンズ4aに平行光として入射した波長405nmの光が厚さ0.1mmの基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有する。

【0206】波長405nmの光は、対物レンズ4aに平行光として入射するため、波長405nmの光に対する対物レンズ4aの倍率は、0である。これに対し、対物レンズ4aに平行光として入射した波長650nmの光が厚さ0.6mmの基板を透過する際には球面収差が残留する。対物レンズ4aに発散光として波長650nmの光を入射させると、対物レンズ4aの倍率変化に伴う新たな球面収差が生じ、これが残留する球面収差を低減する方向に働く。波長650nmの光に対する対物レンズ4aの倍率は0.076に設定される。

【0207】また、対物レンズ4aに平行光として入射した波長780nmの光が厚さ1.2mmの基板を透過する際には球面収差が残留する。対物レンズ4aに発散光として波長780nmの光を入射させると、対物レンズ4aの倍率変化に伴う新たな球面収差が生じ、これが残留する球面収差を低減する方向に働く。波長780nmの光に対する対物レンズ4aの倍率は0.096に設定される。

【0208】ここで、物点から対物レンズ4aの所定の高さrに向かう近軸光線が対物レンズ4aの光軸となす角を $\theta_o$ 、対物レンズ4aの所定の高さrから像点に向かう近軸光線が対物レンズ4aの光軸となす角を $\theta_i$ とすると、対物レンズ4aの倍率は $\tan \theta_o / \tan \theta_i$ で与えられる。物点から対物レンズ4aの物体側主点までの距離を $l_o$ 、対物レンズ4aの像側主点から像点までの距離を $l_i$ とすると、 $\tan \theta_o = r / l_o$ 、 $\tan \theta_i = r / l_i$ となる。波長405nmの光は対物レンズ4aに平行光として入射するため $\theta_o = 0$ 、 $l_o = \infty$ であり、対物レンズ4aの倍率は、0となる。

【0209】波長650nmの光は、対物レンズ4aに発散光として入射するため $\theta_o \neq 0$ 、 $l_o$ は有限であり、このときの $l_o$ の値すなわち物点の位置は、対物レンズ4aの倍率が0.076となるように定められる。波長780nmの光は、対物レンズ4aに発散光として入射するため $\theta_o \neq 0$ 、 $l_o$ は有限であり、このときの $l_o$ の値すなわち物点の位置は、対物レンズ4aの倍率が0.096となるように定められる。

【0210】図16(a)は、開口制御素子21bの平

面図である。図16(b)は、開口制御素子21bの断面図である。開口制御素子21bは、ガラス基板8b上に誘電体多層膜7c、7d、7eが形成された構成である。図中に点線で示す対物レンズ4aの有効径を2aとしたとき、誘電体多層膜7cは、これより小さい直径2bよりさらに小さい直径2cの円形の領域内のみ形成されている。誘電体多層膜7dは、直径2cの円形の領域外かつ直径2bの円形の領域内にのみ形成されている。誘電体多層膜7eは、直径2bの円形の領域外にのみ形成されている。

【0211】誘電体多層膜7cは、波長405nmの光、波長650nmの光、波長780nmの光を全て透過させる働きをする。誘電体多層膜7dは、波長405nmの光、波長650nmの光を全て透過させ、波長780nmの光を全て反射させる働きをする。誘電体多層膜7eは、波長405nmの光を全て透過させ、波長650nmの光、波長780nmの光を全て反射させる働きをする。また、波長405nmに対し、誘電体多層膜7cを透過する光と誘電体多層膜7dを透過する光と誘電体多層膜7eを透過する光との位相差は $2\pi$ の整数倍に調整されている。波長650nmに対し、誘電体多層膜7cを透過する光と誘電体多層膜7dを透過する光との位相差は $2\pi$ の整数倍に調整されている。

【0212】すなわち、開口制御素子21bにおいて、波長405nmの光は全て透過し、波長650nmの光は直径2bの円形の領域内では全て透過し、直径2bの円形の領域外では全て反射される。波長780nmの光は直径2cの円形の領域内では全て透過し、直径2cの円形の領域外では全て反射される。従って、対物レンズ4aの焦点距離をf aとすると、波長405nm、650nm、780nmの光に対する実効的な開口数はそれぞれ $a/f a$ 、 $b/f a$ 、 $c/f a$ で与えられる。例えば $a/f a=0.7$ 、 $b/f a=0.6$ 、 $c/f a=0.45$ に設定される。

【0213】光学系1aの構成は、図3(a)に示す通りであり、光学系1aに備えられた光検出器15aの構成は、図3(b)に示す通りである。また、光学系1dの構成は、図14に示す通りであり、光学系1dに備えられた光検出器15bの構成は、図4(b)に示す通りである。

【0214】図17に光学系1eの構成を示す。波長780nmの半導体レーザ9cからの出射光は、回折光学素子20により0次光、±1次回折光の3つの光に分割される。これらの光は、コリメータレンズ10cで平行光化され、ハーフミラー18bを約50%が透過し、球面収差補正素子22b、凹レンズ19bを透過して平行光から発散光に変換されてディスク5cに向かう。ディスク5cからの3つの反射光は、凹レンズ19b、球面収差補正素子22bを透過して収束光から平行光に変換され、ハーフミラー18bで約50%が反射され、円筒

レンズ13c、レンズ14cを透過して光検出器15cで受光される。光検出器15cは、円筒レンズ13c、レンズ14cの2つの焦線の中に設置されている。光学系1eに備えられた光検出器15cの構成は、図10(b)に示す通りである。

【0215】球面収差補正素子22bの一方の面は平面、他方の面は非球面である。球面収差補正素子22bは、波長780nmの光に対して位相分布を変化させる。球面収差補正素子22bを用いない場合、対物レンズ4aの倍率を0.096に設定することにより、対物レンズ4aに平行光として入射した波長780nmの光が厚さ1.2mmの基板を透過する際に残留する球面収差が低減される。球面収差補正素子22bは、波長780nmの光に対する位相分布の変化が対物レンズ4aの倍率0.096におけるこの低減後の球面収差をほぼ完全に補正するように設計されている。なお、球面収差補正素子22bは凹レンズ19bと一体化することも可能である。

【0216】開口制御素子21bにおける誘電体多層膜7c、7d、7eは、いずれも例えば二酸化チタンを材質とする高屈折率層と例えば二酸化シリコンを材質とする低屈折率層とを交互に積層した構成である。誘電体多層膜7c、7d、7eに対する透過率の波長依存性の設計結果は、図7(a)に示す通りであり、誘電体多層膜7c、7d、7eに対する透過光の位相の波長依存性の設計結果は、図7(b)に示す通りである。

【0217】図12、図15に示す実施の形態においては、対物レンズ4aがアクチュエータによりトラッキング方向に駆動されると、球面収差補正素子22a、22bの中心と対物レンズ4aの中心がトラッキング方向にずれるため、球面収差補正素子22a、22bで位相分布の変化を受け、対物レンズ4aに発散光として入射する光にコマ収差が生じる。

【0218】しかしながら、このコマ収差は、対物レンズ4aを図示しないアクチュエータによりディスク5a、5b、5cのラジアル方向に傾けることで補正することができる。対物レンズ4aをディスク5a、5b、5cのラジアル方向に傾けるとコマ収差が生じる。そこで、対物レンズ4aのラジアル方向の傾きを調整して対物レンズ4aと球面収差補正素子22a、22bの中心ずれに起因するコマ収差を相殺するコマ収差を対物レンズ4aで発生させることにより、対物レンズ4aと球面収差補正素子22a、22bの中心ずれに起因するコマ収差が補正される。

【0219】(光ヘッド装置の第五、六の実施の形態) 図18に本発明の光ヘッド装置の第五の実施の形態を示す。本実施の形態は、図12に示す実施の形態における干渉フィルタ2aと開口制御素子21aとの間に、リレーレンズ23a、23bが設けられた構成である。また、図19に本発明の光ヘッド装置の第六の実施の形態

を示す。本実施の形態は、図 15 に示す実施の形態における干渉フィルタ 2 b と開口制御素子 21 b との間に、リレーレンズ 23 a、23 b が設けられた構成である。

【0220】一般に、ディスクの基板の厚さが設計値からずれると、基板厚ずれに起因する球面収差により集光スポットの形状が乱れ、記録再生特性が悪化する。この球面収差は、光源の波長に反比例し、対物レンズの開口数の 4 乗に比例するため、光源の波長が短く対物レンズの開口数が高いほど記録再生特性に対するディスクの基板厚ずれのマージンは狭くなる。光源である半導体レーザ 9 a の波長が 405 nm、対物レンズ 4 a の開口数が 0.7 の場合、このマージンは十分ではないため、ディスク 5 a の基板厚ずれを補正することが必要である。

【0221】リレーレンズ 23 a、23 b のどちらか一方を図示しないアクチュエータにより光軸方向に移動させると、対物レンズ 4 a における倍率が増減し、球面収差が増減する。そこで、リレーレンズ 23 a、23 b のどちらか一方の光軸方向の位置を調整してディスク 5 a の基板厚ずれに起因する球面収差を相殺する球面収差を対物レンズ 4 a で発生させることにより、ディスク 5 a の基板厚ずれが補正され、記録再生特性に対する悪影響がなくなる。

【0222】図 18、図 19 に示す実施の形態においては、対物レンズ 4 a がアクチュエータによりトラッキング方向に駆動されると、球面収差補正素子 22 a、22 b の中心と対物レンズ 4 a の中心がトラッキング方向にずれるため、球面収差補正素子 22 a、22 b で位相分布の変化を受け対物レンズ 4 a に発散光として入射する光にコマ収差が生じる。

【0223】しかしながら、このコマ収差は、リレーレンズ 23 a、23 b のどちらか一方を図示しないアクチュエータによりディスク 5 a、5 b、5 c のラジアル方向に傾けるか移動させることで補正することができる。この場合、リレーレンズ 23 a、23 b のどちらか一方は、正弦条件を満たさないように設計される。リレーレンズ 23 a、23 b の両方が正弦条件を満たす場合、これをディスク 5 a、5 b、5 c のラジアル方向に傾けるか移動させてもコマ収差は生じない。これに対し、リレーレンズ 23 a、23 b のどちらか一方が正弦条件を満たさない場合、これをディスク 5 a、5 b、5 c のラジアル方向に傾けるか移動させるとコマ収差が生じる。

【0224】そこで、リレーレンズ 23 a、23 b のどちらか一方のラジアル方向の傾きまたは位置を調整して対物レンズ 4 a と球面収差補正素子 22 a、22 b との中心ずれに起因するコマ収差を相殺するコマ収差をリレーレンズ 23 a、23 b のどちらか一方で発生させることにより、対物レンズ 4 a と球面収差補正素子 22 a、22 b との中心ずれに起因するコマ収差が補正される。

【0225】図 12、図 15、図 18、図 19 に示す実施の形態においては、開口制御素子 21 a、21 b は、

対物レンズ 4 a と共にアクチュエータによりトラッキング方向に駆動される。対物レンズ 4 a のみがアクチュエータによりトラッキング方向に駆動される場合、開口制御素子 21 a、21 b における誘電体多層膜 7 a、7 b、7 c、7 d、7 e の中心と対物レンズ 4 a の中心とがトラッキング方向にずれる。従って、往路において開口制御素子 21 a、21 b を透過した波長 650 nm、780 nm の光は、復路において開口制御素子 21 a、21 b で一部反射され、波長 650 nm、780 nm の光に対する実効的な開口数が低下する。

【0226】しかしながら、開口制御素子 21 a、21 b が対物レンズ 4 a と共にアクチュエータによりトラッキング方向に駆動される場合、このような開口数の低下は生じない。

【0227】図 12、図 15、図 18、図 19 に示す実施の形態においては、開口制御素子 21 a、21 b の法線は、対物レンズ 4 a の光軸に対して僅かに傾いている。開口制御素子 21 a、21 b の法線が対物レンズ 4 a の光軸に対して平行な場合、開口制御素子 21 a、21 b で反射された迷光が光学系 1 a、1 d、1 e に備えられた光検出器 15 a、15 b、15 c に入射し、フォーカス誤差信号、トラック誤差信号にオフセットが生じる。しかしながら、開口制御素子 21 a、21 b の法線が対物レンズ 4 a の光軸に対して僅かに傾いている場合、このようなオフセットは生じない。

【0228】図 13 に示す開口制御素子 21 a、図 16 に示す開口制御素子 21 b は、ガラス基板 8 b 上に誘電体多層膜 7 a、7 b、7 c、7 d、7 e が形成された構成である。これに対し、誘電体多層膜が対物レンズ上に形成された構成も可能である。

【0229】（光学式情報記録再生装置の第一の実施の形態）図 20 に本発明の光学式情報記録再生装置の第一の実施の形態を示す。本実施の形態は、図 1 に示す本発明の光ヘッド装置の第一の実施の形態に記録再生回路 26 a、26 b、切換回路 25 a、制御回路 24 a を付加したものである。記録再生回路 26 a は、ディスク 5 a への記録信号に基づいて光学系 1 a に備えられた半導体レーザ 9 a への入力信号を生成すると共に、光学系 1 a に備えられた光検出器 15 a からの出力信号に基づいてディスク 5 a からの再生信号を生成する。

【0230】記録再生回路 26 b は、ディスク 5 b への記録信号に基づいて光学系 1 b に備えられた半導体レーザ 9 b への入力信号を生成すると共に、光学系 1 b に備えられた光検出器 15 b からの出力信号に基づいてディスク 5 b からの再生信号を生成する。切換回路 25 a は、記録再生回路 26 a から半導体レーザ 9 a への入力信号の伝達経路、記録再生回路 26 b から半導体レーザ 9 b への入力信号の伝達経路を切り換える。制御回路 24 a は、ディスク 5 a が挿入された場合は入力信号が記録再生回路 26 a から半導体レーザ 9 a へ伝達され、デ

ディスク 5 b が挿入された場合は入力信号が記録再生回路 2 6 b から半導体レーザ 9 b へ伝達されるように切換回路 2 5 a の動作を制御する。

【0231】（光学式情報記録再生装置の第二の実施の形態）図 2 1 に本発明の光学式情報記録再生装置の第二の実施の形態を示す。本実施の形態は、図 1 に示す本発明の光ヘッド装置の第一の実施の形態に記録再生回路 2 6 c、切換回路 2 5 b、制御回路 2 4 b を付加したものである。記録再生回路 2 6 c は、ディスク 5 a、5 b への記録信号に基づいて光学系 1 a に備えられた半導体レーザ 9 a、光学系 1 b に備えられた半導体レーザ 9 b への入力信号をそれぞれ生成すると共に、光学系 1 a に備えられた光検出器 1 5 a、光学系 1 b に備えられた光検出器 1 5 b からの出力信号に基づいてディスク 5 a、5 b からの再生信号をそれぞれ生成する。

【0232】切換回路 2 5 b は、記録再生回路 2 6 c から半導体レーザ 9 a、9 b への入力信号の伝達経路を切り換える。制御回路 2 4 b は、ディスク 5 a が挿入された場合は入力信号が記録再生回路 2 6 c から半導体レーザ 9 a へ伝達され、ディスク 5 b が挿入された場合は入力信号が記録再生回路 2 6 c から半導体レーザ 9 b へ伝達されるように切換回路 2 5 b の動作を制御する。

【0233】（光学式情報記録再生装置の第三の実施の形態）図 2 2 に本発明の光学式情報記録再生装置の第三の実施の形態を示す。本実施の形態は、図 8 に示す本発明の光ヘッド装置の第二の実施の形態に記録再生回路 2 6 d、2 6 e、2 6 f、切換回路 2 5 c、制御回路 2 4 c を付加したものである。記録再生回路 2 6 d は、ディスク 5 a への記録信号に基づいて光学系 1 a に備えられた半導体レーザ 9 a への入力信号を生成すると共に、光学系 1 a に備えられた光検出器 1 5 a からの出力信号に基づいてディスク 5 a からの再生信号を生成する。

【0234】記録再生回路 2 6 e は、ディスク 5 b への記録信号に基づいて光学系 1 b に備えられた半導体レーザ 9 b への入力信号を生成すると共に、光学系 1 b に備えられた光検出器 1 5 b からの出力信号に基づいてディスク 5 b からの再生信号を生成する。記録再生回路 2 6 f は、ディスク 5 c への記録信号に基づいて光学系 1 c に備えられた半導体レーザ 9 c への入力信号を生成すると共に、光学系 1 c に備えられた光検出器 1 5 c からの出力信号に基づいてディスク 5 c からの再生信号を生成する。

【0235】切換回路 2 5 c は、記録再生回路 2 6 d から半導体レーザ 9 a への入力信号の伝達経路、記録再生回路 2 6 e から半導体レーザ 9 b への入力信号の伝達経路、記録再生回路 2 6 f から半導体レーザ 9 c への入力信号の伝達経路を切り換える。制御回路 2 4 c は、ディスク 5 a が挿入された場合は入力信号が記録再生回路 2 6 d から半導体レーザ 9 a へ伝達され、ディスク 5 b が挿入された場合は入力信号が記録再生回路 2 6 e から半

導体レーザ 9 b へ伝達され、ディスク 5 c が挿入された場合は入力信号が記録再生回路 2 6 f から半導体レーザ 9 c へ伝達されるように切換回路 2 5 c の動作を制御する。

【0236】（光学式情報記録再生装置の第四の実施の形態）図 2 3 に本発明の光学式情報記録再生装置の第四の実施の形態を示す。本実施の形態は、図 8 に示す本発明の光ヘッド装置の第二の実施の形態に記録再生回路 2 6 g、切換回路 2 5 d、制御回路 2 4 d を付加したものである。記録再生回路 2 6 g は、ディスク 5 a、5 b、5 c への記録信号に基づいて光学系 1 a に備えられた半導体レーザ 9 a、光学系 1 b に備えられた半導体レーザ 9 b、光学系 1 c に備えられた半導体レーザ 9 c への入力信号をそれぞれ生成すると共に、光学系 1 a に備えられた光検出器 1 5 a、光学系 1 b に備えられた光検出器 1 5 b、光学系 1 c に備えられた光検出器 1 5 c からの出力信号に基づいてディスク 5 a、5 b、5 c からの再生信号をそれぞれ生成する。

【0237】切換回路 2 5 d は、記録再生回路 2 6 g から半導体レーザ 9 a、9 b、9 c への入力信号の伝達経路を切り換える。制御回路 2 4 d は、ディスク 5 a が挿入された場合は入力信号が記録再生回路 2 6 g から半導体レーザ 9 a へ伝達され、ディスク 5 b が挿入された場合は入力信号が記録再生回路 2 6 g から半導体レーザ 9 b へ伝達され、ディスク 5 c が挿入された場合は入力信号が記録再生回路 2 6 g から半導体レーザ 9 c へ伝達されるように切換回路 2 5 d の動作を制御する。

【0238】本発明の光学式情報記録再生装置の実施の形態としては、本発明の光ヘッド装置の第三～第六の実施の形態に記録再生回路、切換回路、制御回路を付加した形態も考えられる。

【0239】なお、上述した実施の形態は、本発明の好適な実施の形態の一例を示すものであり、本発明はそれ限定されることなく、その要旨を逸脱しない範囲内において、種々変形実施が可能である。

#### 【0240】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明の光ヘッド装置は、第一の波長の光を出射する第一の光源と、第二の波長の光を出射する第二の光源と、光検出器と、波長選択フィルタと、対物レンズと、第一の光源からの出射光を波長選択フィルタおよび対物レンズを介して第一の基板厚さの第一の光記録媒体に導き、第二の光源からの出射光を波長選択フィルタおよび対物レンズを介して第二の基板厚さの第二の光記録媒体に導くと共に、第一および第二の光記録媒体からの反射光を対物レンズおよび波長選択フィルタを介して光検出器に導く光学系を有し、第一の波長の光を用いて第一の光記録媒体に対して記録や再生を行い、第二の波長の光を用いて第二の光記録媒体に対して記録や再生を行う光ヘッド装置であって、第一の波長の光に対する対物レンズの倍率と

第二の波長の光に対する対物レンズの倍率が異なると共に、波長選択フィルタは対応する対物レンズの倍率における第一の波長の光または第二の波長の光に対して残留する球面収差を低減するように位相分布を変化させる。

【0241】また、本発明の光学式情報記録再生装置は、本発明の光ヘッド装置と、光源への入力信号を生成すると共に光記録媒体からの再生信号を生成する記録再生回路と、入力信号の伝達経路を切り換える切換回路と、光記録媒体の種類に応じて切換回路の動作を制御する制御回路を有する。

【0242】従って、本発明の光ヘッド装置および光学式情報記録再生装置の効果は、記録密度をさらに高めるために光源の波長をさらに短く対物レンズの開口数をさらに高くし、光記録媒体の基板厚さをさらに薄くした次世代規格の光記録媒体と、従来のDVD規格の光記録媒体やCD規格の光記録媒体とのいずれに対しても記録や再生を行うことができる互換の機能を有することである。

【0243】その理由は、第一の波長の光または第二の波長の光に対し、対物レンズの倍率変化を用いることにより残留する球面収差が低減され、波長選択フィルタを用いることにより対応する対物レンズの倍率におけるこの低減後の球面収差がさらに低減されるためである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光ヘッド装置の第一の実施の形態を示す図である。

【図2】本発明の光ヘッド装置の第一の実施の形態に用いる波長選択フィルタを示す図であり、(a)は一方の面から見た平面図、(b)は他方の面から見た平面図、(c)は断面図である。

【図3】(a)は本発明の光ヘッド装置の第一の実施の形態に用いる波長405nmの光学系の構成を示す図であり、(b)は(a)に示す光学系に備えられた光検出器の構成を示す図である。

【図4】(a)は本発明の光ヘッド装置の第一の実施の形態に用いる波長650nmの光学系の構成を示す図であり、(b)は(a)に示す光学系に備えられた光検出器の構成を示す図である。

【図5】本発明の光ヘッド装置の第一の実施の形態に用いる波長選択フィルタにおける位相フィルタパタンの設計結果を示す図である。

【図6】本発明の光ヘッド装置の第一の実施の形態における波長650nmの光に対する波面収差の計算結果を示す図であり、(a)は対物レンズの倍率変化を用いて波長選択フィルタを用いない場合、(b)は対物レンズの倍率変化を用いてさらに波長選択フィルタを用いた場合の図である。

【図7】本発明の光ヘッド装置の第一の実施の形態に用いる波長選択フィルタにおける誘電体多層膜に対する、(a)は透過率の波長依存性の設計結果を示す図、

(b)は透過光の位相の波長依存性の設計結果を示す図である。

【図8】本発明の光ヘッド装置の第二の実施の形態を示す図である。

【図9】本発明の光ヘッド装置の第二の実施の形態に用いる波長選択フィルタを示す図であり、(a)は一方の面から見た平面図、(b)は他方の面から見た平面図、(c)は断面図である。

【図10】(a)は本発明の光ヘッド装置の第二の実施の形態に用いる波長780nmの光学系の構成を示す図であり、(b)は(a)に示す光学系に備えられた光検出器の構成を示す図である。

【図11】本発明の光ヘッド装置の第二の実施の形態における波長780nmの光に対する波面収差の計算結果を示す図であり、(a)は対物レンズの倍率変化を用いて波長選択フィルタを用いない場合、(b)は対物レンズの倍率変化を用いてさらに波長選択フィルタを用いた場合の図である。

【図12】本発明の光ヘッド装置の第三の実施の形態を示す図である。

【図13】本発明の光ヘッド装置の第三の実施の形態に用いる開口制御素子を示す図であり、(a)は平面図、(b)は断面図である。

【図14】本発明の光ヘッド装置の第三の実施の形態に用いる波長650nmの光学系の構成を示す図である。

【図15】本発明の光ヘッド装置の第四の実施の形態を示す図である。

【図16】本発明の光ヘッド装置の第四の実施の形態に用いる開口制御素子を示す図であり、(a)は平面図、(b)は断面図である。

【図17】本発明の光ヘッド装置の第四の実施の形態に用いる波長780nmの光学系の構成を示す図である。

【図18】本発明の光ヘッド装置の第五の実施の形態を示す図である。

【図19】本発明の光ヘッド装置の第六の実施の形態を示す図である。

【図20】本発明の光学式情報記録再生装置の第一の実施の形態を示す図である。

【図21】本発明の光学式情報記録再生装置の第二の実施の形態を示す図である。

【図22】本発明の光学式情報記録再生装置の第三の実施の形態を示す図である。

【図23】本発明の光学式情報記録再生装置の第四の実施の形態を示す図である。

【図24】従来の光ヘッド装置の第一の例の構成を示す図である。

【図25】従来の光ヘッド装置の第一の例に用いる波長選択フィルタを示す図であり、(a)は平面図、(b)は断面図である。

【図26】従来の光ヘッド装置の第二の例の構成を示す

図である。

【図2.7】従来の光ヘッド装置の第二の例に用いる開口制御素子を示す図であり、(a)は平面図、(b)は断面図である。

【図2.8】従来の光ヘッド装置の第一の例に用いる波長選択フィルタを次世代規格と従来のDVD規格の互換の方法として適用する場合の、波長選択フィルタにおける位相フィルタパタンの設計結果を示す図である。

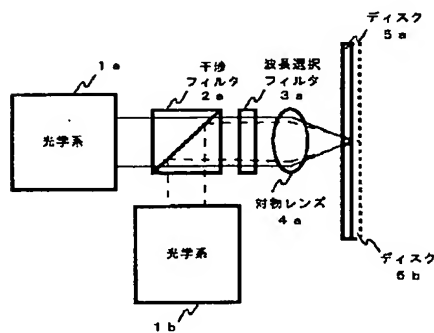
【図2.9】従来の光ヘッド装置の第一の例に用いる波長選択フィルタを次世代規格と従来のDVD規格の互換の方法として適用する場合の、波長650nmの光に対する波面収差の計算結果を示す図であり、(a)は波長選択フィルタを用いない場合、(b)は波長選択フィルタを用いた場合の図である。

【図3.0】従来の光ヘッド装置の第二の例に用いる対物レンズの倍率変化を次世代規格と従来のDVD規格の互換の方法として適用する場合の、波長650nmの光に対する波面収差の計算結果を示す図である。

【符号の説明】

- 1 a、1 b、1 c、1 d、1 e、1 f、1 g 光学系 20  
 2 a、2 b、2 c 干渉フィルタ  
 3 a、3 b、3 c 波長選択フィルタ  
 4 a、4 b 対物レンズ  
 5 a、5 b、5 c ディスク  
 6 a、6 b 位相フィルタパタン  
 7 a、7 b、7 c、7 d、7 e、7 f、7 g 誘電体多\*

【図1】



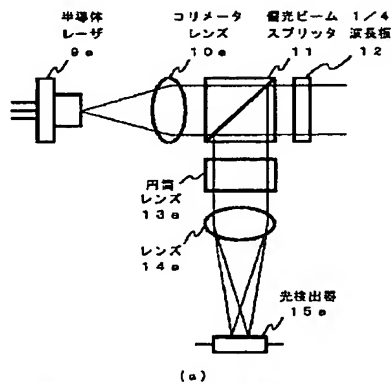
【図5】

入射光波長/焦点距離	位相フィルタパタン
0.000~0.145	3段
0.145~0.401	1段
0.401~0.472	3段
0.472~0.577	0段
0.577~0.600	3段

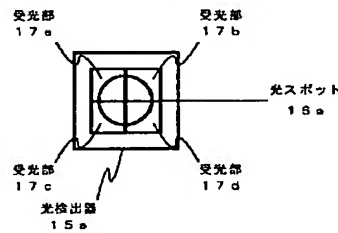
\* 層膜

- 8 a、8 b、8 c ガラス基板  
 9 a、9 b、9 c 半導体レーザ  
 10 a、10 b、10 c、10 d コリメータレンズ  
 11 偏光ビームスプリッタ  
 12 1/4波長板  
 13 a、13 b、13 c 円筒レンズ  
 14 a、14 b、14 c レンズ  
 15 a、15 b、15 c 光検出器  
 16 a、16 b、16 c、16 d、16 e 光スポット  
 17 a、17 b、17 c、17 d、17 e、17 f、17 g、17 h、17 i、17 j、17 k、17 l、17 m、17 n 受光部  
 18 a、18 b ハーフミラー  
 19 a、19 b 凹レンズ  
 20 回折光学素子  
 21 a、21 b、21 c 開口制御素子  
 22 a、22 b 球面収差補正素子  
 23 a、23 b リレーレンズ  
 24 a、24 b、24 c、24 d 制御回路  
 25 a、25 b、25 c、25 d 切換回路  
 26 a、26 b、26 c、26 d、26 e、26 f、26 g 記録再生回路  
 27 a、27 b モジュール  
 28 位相補償膜

【図3】

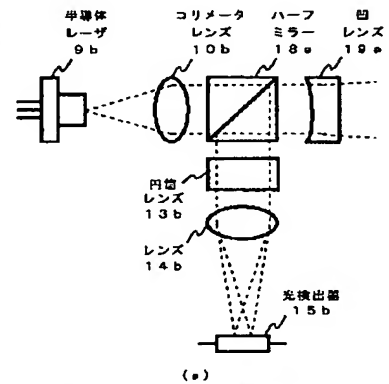


(a)

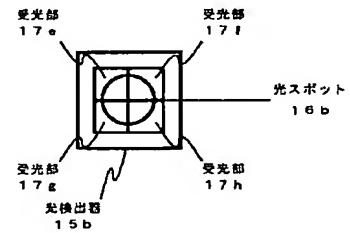


(b)

【図4】

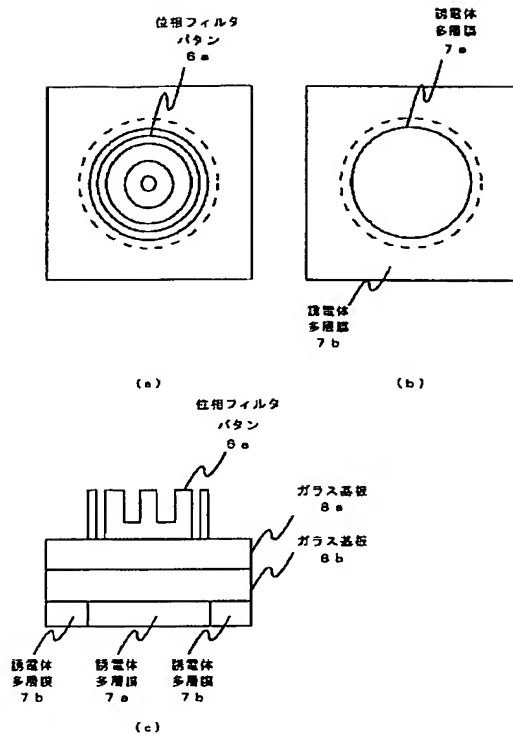


(a)

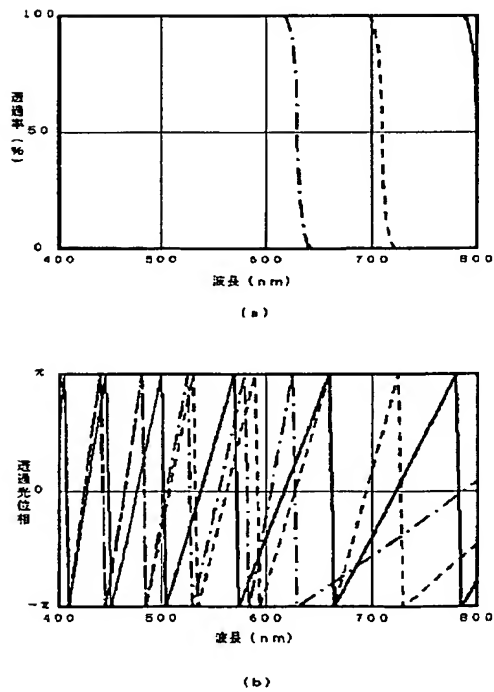


(b)

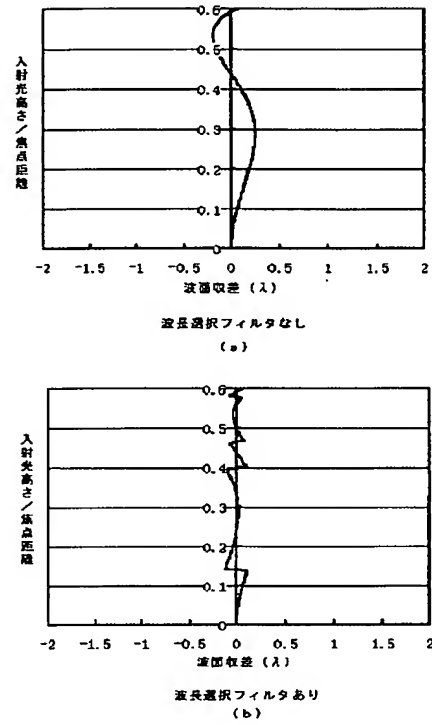
【図2】



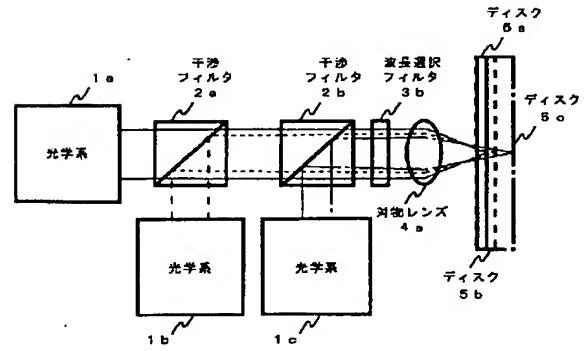
【図7】



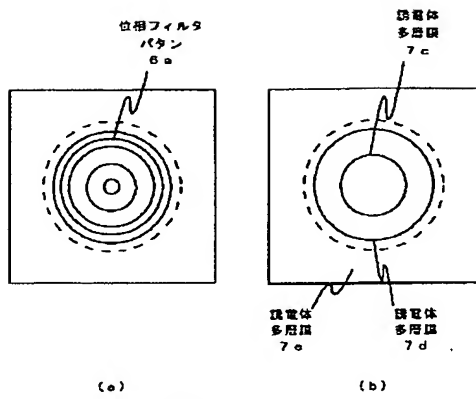
【図6】



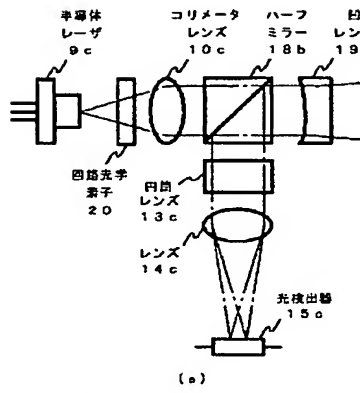
【図8】



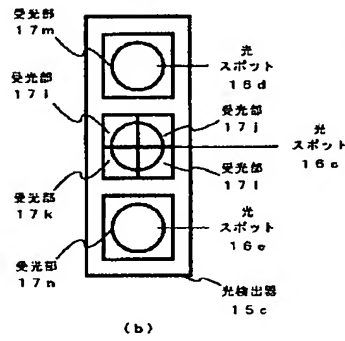
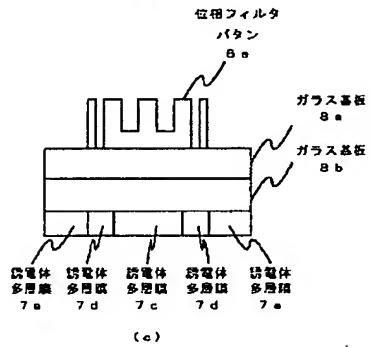
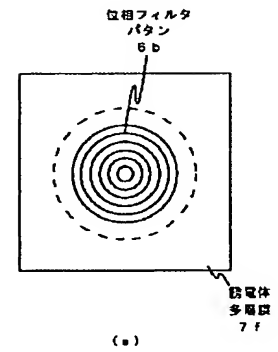
【図9】



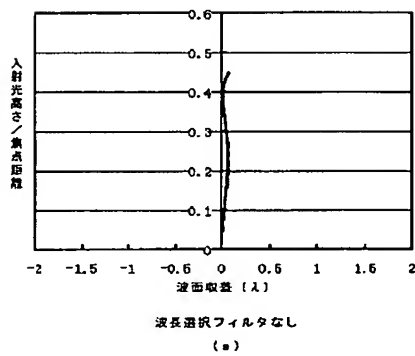
【図10】



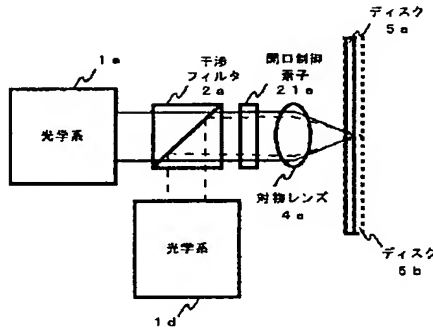
【図25】



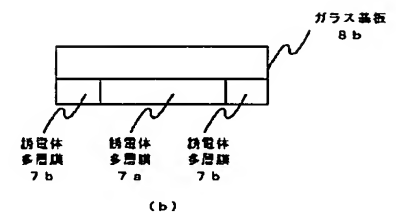
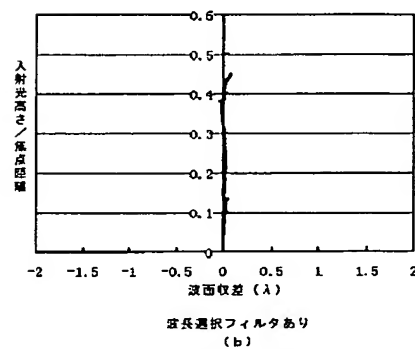
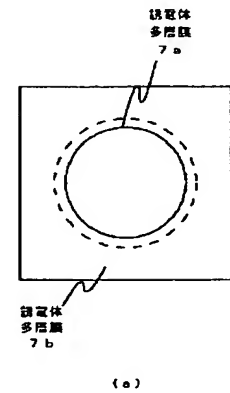
【図11】



【図12】

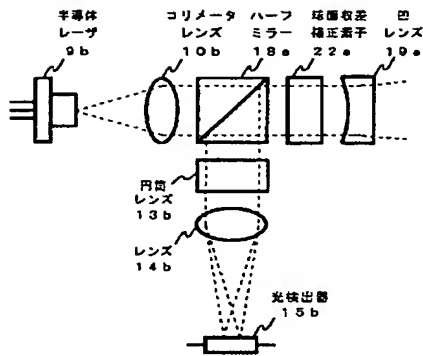


【図13】

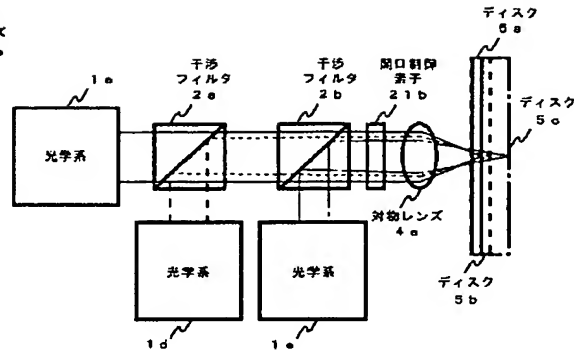




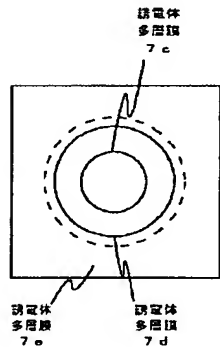
【図14】



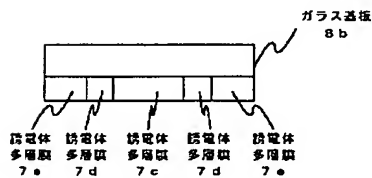
【図15】



【図16】

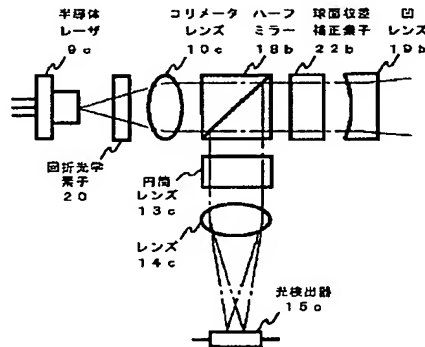


(a)

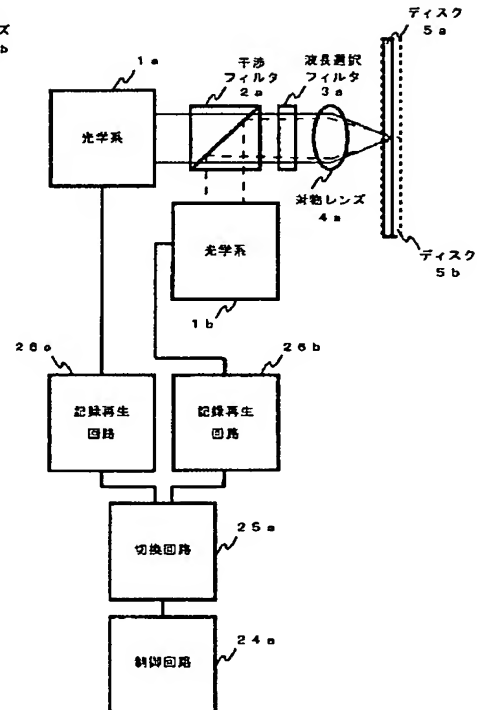


(b)

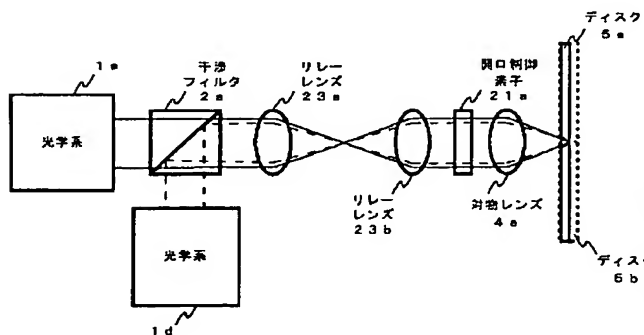
【図17】



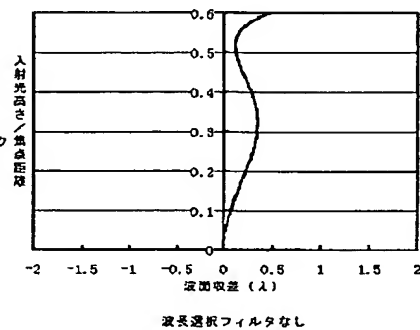
【図20】



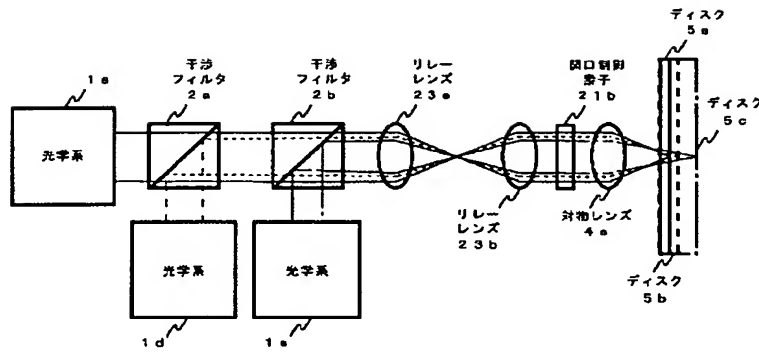
【図18】



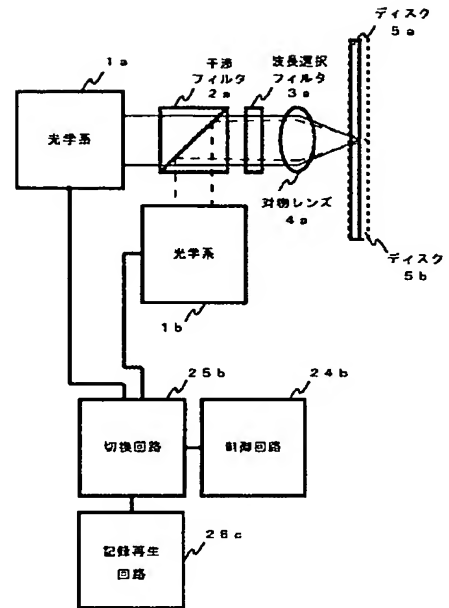
【図30】



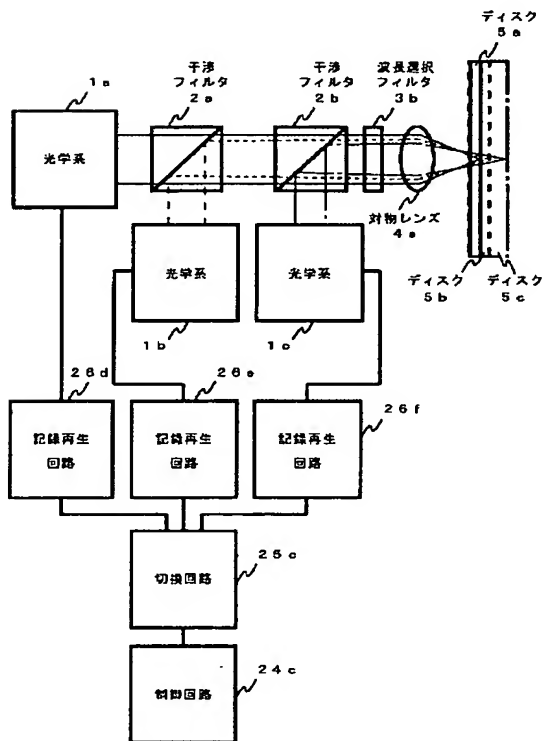
【図 19】



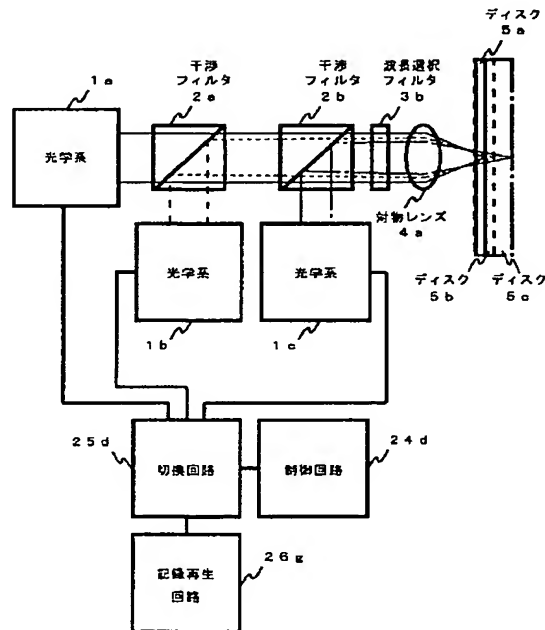
【図 21】



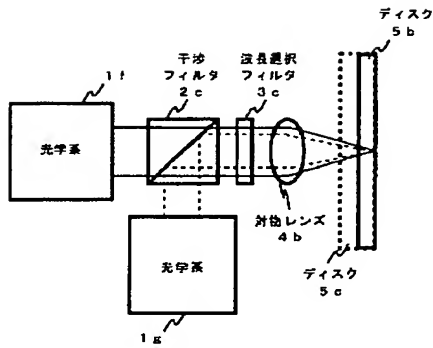
【図 22】



【図 23】



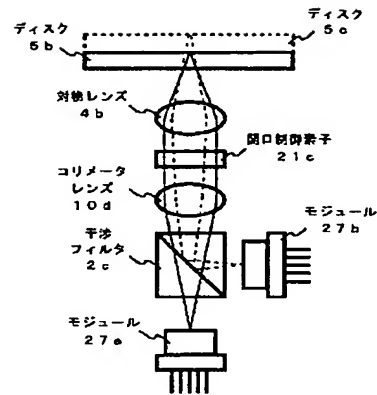
【図 24】



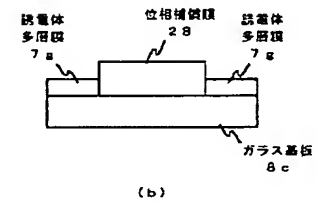
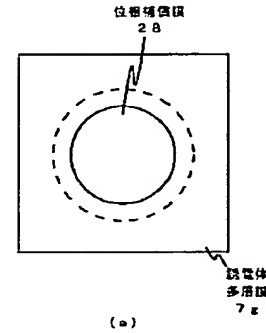
【図 28】

入射光高さ/焦点距離	位相フィルタパターン
0.000~0.070	4段
0.070~0.132	1段
0.132~0.175	3段
0.175~0.213	0段
0.213~0.254	2段
0.254~0.288	4段
0.288~0.326	1段
0.325~0.370	3段
0.370~0.475	0段
0.475~0.503	3段
0.503~0.522	1段
0.522~0.537	4段
0.537~0.552	2段
0.552~0.562	0段
0.562~0.571	3段
0.571~0.580	1段
0.580~0.588	4段
0.588~0.597	2段
0.597~0.600	0段

【図 26】



【図 27】



【図 29】

